



**Escola Superior d'Enginyeries Industrials,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ESTUDI, OPTIMITZACIÓ I ÚS APLICAT DE L'ENERGIA
ELÈCTRICA GENERADA PER UN SISTEMA MECÀNIC
D'EXCITACIÓ D'ELEMENTS

Titulació: Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Data: 10-06-2018

Autor: Prada Corvinos, Abel

Tutor: Bernat Masó, Ernest



Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements




**Escola Superior d'Enginyeries Industrials,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA


ESTUDI, OPTIMITZACIÓ I ÚS APLICAT DE L'ENERGIA ELÈCTRICA GENERADA PER UN SISTEMA MECÀNIC D'EXCITACIÓ D'ELEMENTS

MEMÒRIA

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 2 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		


Índex de contingut

Índex de Taules	4
1.Introducció.....	5
2.Objectius.....	6
3.Abast.....	7
4.Estat del art.....	8
4.1Energy Harvesting.....	11
5.Especificacions	12
6.Aplicació industrial	16
6.1Funcionament	16
7.Estudis realitzats	21
7.1 Sistema Mecànic.....	21
7.2 Sistema Electric	21
7.3 Centraleta.....	23
8.Optimitzacions	24
8.1 Captador.....	24
8.2 Centraleta.....	38
8.2.1 Consums	48
8.2.2Conexions	49
8.3 Estabilitzador de senyal	50
9.Pressupost	57
10.Impacte ambiental	58
10.1 Avaluació Cicle de vida.....	58
10.2 Control de residus i desmantellament	58
11.Línies futures del treball.....	61
12.Conclusions.....	62
13.Bibliografia.....	63
14.Annex.....	64

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 3 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		


Índex de gràfiques

Figura 1: Polarització dels dominis [12]	10
Figura 2: Evolució de patents relacionades amb piezoelectrics [1]	11
Figura 3: Cremallera d'hacer i engranatges	12
Figura 4: Embragatge	12
Figura 5: Prototip conceptual de laboratori, Volant d'Inercia [3]	13
Figura 6: Xaveta	13
Figura 7: Armari amb els piezoelectrics [3]	14
Figura 8: Propietats materials considerats.....	15
Figura 9: Ressalt del sistema per on pasará el vehicle [3]	16
Figura 10: Sistema d'eixos [3].....	17
Figura 11: Desglosament dels components dins el sistema d'eixos [3]	18
Figura 12: Conjunt de pletines [3]	19
Figura 13: Desglosament armari piezoelectrics [3]	19
Figura 14: Mapa conceptual adaptació ona [4].....	22
Figura 15: Circuit inicial [4].....	22
Figura 16: Esquema de forces inicials [3]	24
Figura 17: Especificacions del embragatge instal·lat.....	25
Figura 18 Esquema voladís [3]	29
Figura 19: Distribució de forces [3].....	31
Figura 20: Fulla de càlcul 1	37
Figura 21: Resolució automàtica sistema 7 equacions	38
Figura 22: codi piezoelèctric.....	39
Figura 23: Codi funcionament sensor piezo	39
Figura 24: Senyal rebuda pel sensor piezoelèctric	40
Figura 25: Lectures sensor piezoelèctric	40
Figura 26: Codi sensor llum	41
Figura 27: Codi sensor temperatura	42
Figura 28: Codi sensor pluja	43
Figura 29: Codi SD	44
Figura 30: Cervell del codi	45
Figura 31: Cervell del codi (cont.)	46
Figura 32: Codi principal.....	47
Figura 33: Conexionat Arduino	49
Figura 34 Exemple de panell senyalitzant.....	54

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 4 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Índex de Taules

Taula 1: Forces de retorn	26
Taula 2: Forces de retorn i inicials	27
Taula 3: Evolució velocitat-temps.....	32
Taula 4: Acceleració en funció de les forces	33
Taula 5: Inèrcia eix 1	34
Taula 6: Inèrcia eix 2 i 3.....	35
Taula 7: Inèrcia eix 4	35
Taula 8: Consums sistema centraleta	48
Taula 9: Estudi elèctric de resistències [8]	51
Taula 10: Costos Totals	57
Taula 11: Producció contaminant d'un vehicle	58
Taula 12: Classificació dels residus produïts	59
Taula 13: Accions desenvolupades per a cada residu	60

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 5 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

1.Introducció

En l'actualitat les alternatives a les energies fòssils estan en el punt de mira de tothom. La tecnologia avança de forma que ens permeti buscar nous camins per a la generació d'energia de forma renovable, sense comprometre a les generacions futures mitjançant un creixement sostenible.

El decreixement dels recursos naturals així com dels combustibles fòssils provoca que la humanitat busqui alternatives a tots els elements de consumició i generació energètics.


L'asfalt de les carreteres aguanta el pas de milions de vehicles al llarg de la seva vida. Aquests vehicles en moviment provoquen vibracions, deformacions. Al mateix temps el paviment rep tensions i energia cinètica a causa de la carrega dels automòbils. No obstant aquesta energia es dissipa i es perd en forma d'energia tèrmica, fet que provoca un augment en el dany de la carretera. No obstant en els darrers anys s'han elaborat estudis per a aconseguir aprofitar aquestes energies mecàniques. La tecnologia més adient per a aprofitar-les es basa en l'ús de piezoelèctrics.

En aquest projecte s'estudiarà una via d'estalviament energètic dins de les senyalitzacions lumíniques, doncs es basa en un generador d'energia a partir de materials piezoelèctrics. Aquest tipus de materials es caracteritzen per produir corrent elèctrica al patir una deformació mecànica i la inversa, deformar-se mecànicament quan se li aplica un diferencial de potencial.

Havent-se realitzat estudis previs de cada una de les parts d'aquest sistema, les quals són, el captador d'energia, estabilitzador de senyal elèctrica, centraleta i la corresponent sortida (en aquest cas, un panel de senyalització format per leds).

A més a més s'analitzaran críticament els estudis fets prèviament, s'optimitzaran, i es dissenyarà l'acoblament per formar el sistema final.

El sistema aprofita l'energia que proporciona el pes d'un cotxe quan passa per una plataforma (com un ressalt), aquesta energia mecànica es transmet dins el sistema, fins arribar als piezoelèctrics, que vibraran amb la tensió que els hi arribi, proporcionant un corrent que s'aprofitarà per il·luminar el panell.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 6 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

2.Objectius


Aquest projecte pretén estudiar, calcular i dissenyar un sistema eficient energèticament, i també econòmicament d'un sistema captador d'energia mecànica que es transforma mitjançant un conjunt de piezoelèctrics en energia elèctrica.

L'objectiu principal d'aquest treball es optimitzar les diverses parts estudiades anteriorment del sistema pel grup de recerca del departament de resistència de materials de l'ESEIAAT, realitzades individualment, i aquí acoblar-les en un sol i detallar al usuari final la implementació i funcionament del mateix.

D'aquesta manera en aquest treball s'estudiaran les parts mecàniques, elèctriques i electròniques del sistema, determinat si seria un sistema rentable, i com es podria extreure el màxim benefici de la instal·lació.

S'analitzarà i millorarà la producció d'energia, mirant també de reduir les diverses pèrdues tant mecàniques com elèctriques.

Finalment s'inclouran fulles de càlcul com a rutes per a futures possibles instal·lacions, donant així la opció i facilitat d'analitzar la viabilitat d'una instal·lació concreta aportant valors teòrics.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 7 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		


3.Abast

En aquest estudi es pretendrà determinar per a un cas real, la rendibilitat d'un sistema generador d'electricitat basat en piezoelèctrics, que aprofiten l'energia mecànica del pas de vehicles.

S'estudiaran els diversos treballs fets per a les diferents parts que inclou el sistema, i s'aportaran millores i valoracions. A partir d'un prototip existent però no funcional, es donaran xifres de l'energia aprofitable i consumida, a més d'una llista dels components que el formen.

Es donarà un pressupost estimat per a la implementació del sistema analitzat així com el seu impacte ambiental corresponent.

Propers usuaris podran també realitzar les seves estimacions energètiques i mecàniques amb les fulles de càlcul que s'elaboraran.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 8 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

4. Estat del art

La piezoelectricitat és un fenomen descobert al 1880 que pateixen alguns materials (minerals, ceràmics i alguns polímers), on al ser sotmesos a tensions o càrregues mecàniques, apareix un diferencial de potencial en la seva superfície (és coneix com efecte directe). No obstant aquesta característica també es pot donar de forma inversa, aplicant un diferencial de potencial en ell, pateix deformacions de caràcter normalment reversible.[12]

Al aplicar una tensió mecànica sobre el cristall del material, els àtoms ionitzats de la estructura en cada cella cristal·lina es desplacen, provocant càrregues en la superfície del material. A causa de la ordenació que presenta l'estructura cristal·lina, y com la deformació afecta a totes les celes del cos del cristall, les càrregues que apareixen es sumen i produeixen una acumulació d'electricitat, produint una diferencia de potencial entre determinades cares del cristall que poden arribar a ser d'elevats volts.[13]

Aquest efecte però només es produeix en cristalls que no tenen un centre de simetria en la cel·la unitat, ja que el centre de càrregues negatives no pot ser el mateix que el de les positives. És doncs la asimetria la causant de la formació dels dipols. Aquests dipols fan possible que al aplicar-ne un camp elèctric, la estructura cristal·lina es deformi, expandint-se o contraient-se, en funció de la direcció de la corrent, i al aplicar una força sobre el cristall, es generi un desplaçament elèctric dels dipols, creant una diferencia de potencial als seus extrems.[13]

Exemples d'aquest tipus de materials són el quars, el topazi i la turmalina.

Aquest tipus de materials a més, disposen de diferents propietats, anomenades constants piezoelèctriques:[12]


- d , Constant de carga piezoelèctrica (metres/Volts ; Coulombs/Newton)
Proporció entre la variació dimensional del piezoelèctric i la diferencia de potencial aplicada. Proporció entre la generació de càrregues elèctriques i la força aplicada.

$$S = d * E \quad ; \quad S = \Delta l / l$$

- g , Constant de tensió piezoelèctrica (Volts per metre/Newton)
Relació entre la intensitat del camp induïda i la tensió aplicada

$$E = -g * T$$

- k , Quocient d'acoblament (adimensional)

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 9 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		


Estableix la eficiència del piezoelèctric al pas d'energia elèctrica a mecànica i a la inversa.

- **Q** , Factor de qualitat mecànic (adimensional)
Mesura l'amortiment del material
- **Tan δ** , Factor de dissipació dielèctrica (adimensional)
Indica la desviació de desfasament entre la intensitat i la tensió. Bons factors de dissipació solen ser inferiors a 10^{-3}
- **N** , Constant de freqüència (Hertz per metre)
Permet estimar la freqüència de ressonància
- **Z** , Impedància acústica ($\text{kg/m}^2\text{s}$)
Forma amb la qual es propaga l'energia mecànica, similar al índex de refracció. La diferència entre les impedàncies de dos medis equival a la fracció de l'energia reflexada i transmesa d'una ona incident.

Els materials piezoelèctrics es classifiquen en dos grups:[12]

- Naturals: Posseeixen caràcter piezoelèctric de forma natural (quars). El seu efecte però no és molt alt.
- Ferroelèctrics: Presenten efecte piezoelèctric després de ser polaritzats (com els ceràmics). El efecte que presenten es notable i per això el seu incrementat ús dins la indústria.

Per procedir a la polarització dels ferroelèctrics, inicialment els seus dominis es troben apuntant a direccions aleatòries, s'escalfa aleshores l'element no més enllà de la temperatura de Curie (temperatura a la qual la permeabilitat relativa cau a 1) de manera que els dipols del mateix canviaran la seva orientació a la del camp elèctric que s'apliqui, quedant els dominis alineats. Conservant el camp aplicat, es refreda el material per davall de la Temperatura de Curie, i quan es deixi d'aplicar el camp, els dipols ja hauran quedat establerts en la posició que es desitjava ja que aquests no poden tornar fàcilment a la seva posició original. S'ha de tindre en compte però, que

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 10 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

un cop polaritzats, si es supera la temperatura de Curie, es perdran o reduiran les propietats piezoelèctriques.[13]

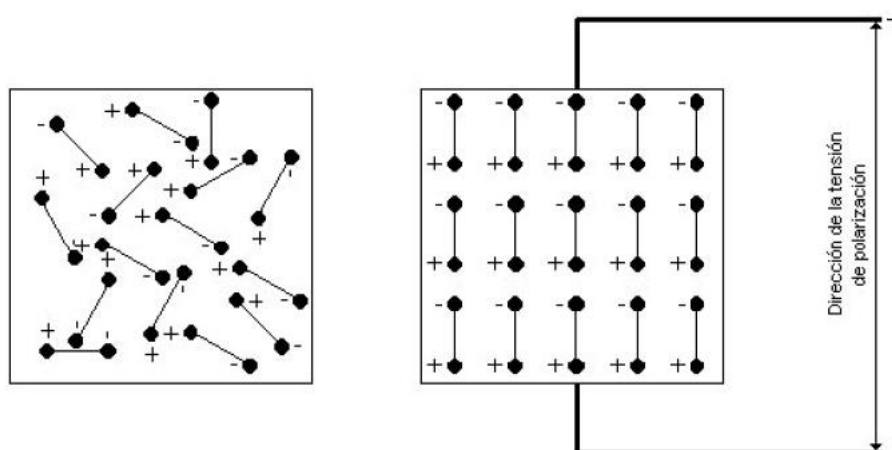


Figura 1: Polarització dels dominis [12]

En el prototip s'implementarà una ceràmica piezoelèctrica, les més utilitzades en la majoria de dispositius actuals, ja que pertanyen al grup que proporciona una major flexibilitat a l'hora d'escollir la forma i propietats, doncs tenen la propietat de ser rígids i dúctils. Tenen un gran mòdul d'elasticitat, fet que facilita el seu acoblament mecànic a la estructura i són grans candidats per a fer-se servir com actuadors.[4]

El sector industrial, informàtic i d'automoció són els que més en fan servir aquest tipus de materials. Actualment els seus usos més populars són en dispositius de memòria, en els comandaments de televisió i sensors de moviment. S'ha de considerar, que tot i ser un fenomen descobert al 1880, cent anys després encara no s'havia obtingut un gran desenvolupament.[13]

És a partir del 1991 que comença a haver-hi un increment en els estudis d'aquests, tal i com passa també amb altres materials intel·ligents com són els materials amb memòria de forma.[12]

En els darrers anys, com es pot apreciar en la següent gràfica, es quan ha augmentat exponencialment l'interès per els piezoelèctrics, sobretot des de les institucions asiàtiques, amb major nombre d'estudis i de patents publicades.[1]

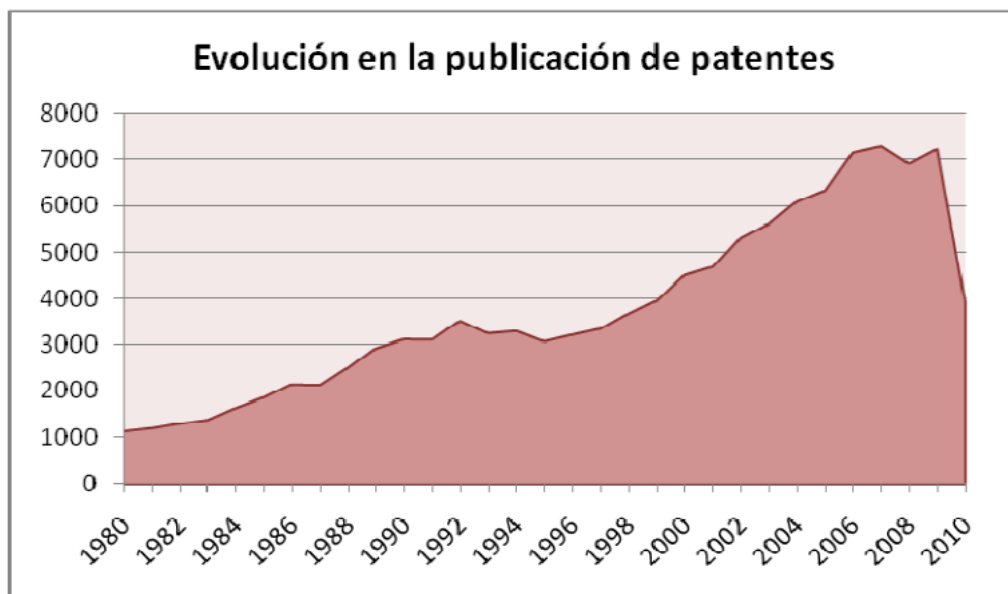


Figura 2: Evolució de patents relacionades amb piezoelectrics [1]

Els seus usos més coneguts són per a la generació d'alts voltatges (com els encenedors de cigarretes, o transformar les petjades humanes en energia, procés conegut com energy harvesting), aquest us serà el que s'implementarà i estudiarà en aquest treball. També es poden utilitzar per a la generació de freqüències electròniques, detecció i producció de so i en motors de combustió. [12]

4.1 Energy Harvesting

Conegut també com captació d'energia, és el procés pel qual l'energia derivada de fonts externes o ambientals, es captura i emmagatzemada per a petits aparells autònoms, de manera que s'aprofita en energia elèctrica. [2]

La captació d'energia existeix des de fa segles, quan s'utilitzaven els molins de vent i les rodes hidràuliques com a forma d'energia. La motivació per desenvolupar nous sistemes recau en la necessitat de fer funcionar dispositius mòbils i sistemes de sensors sense requerir de bateries. També es motivació la problemàtica del canvi climàtic i el escalfament global.

5. Especificacions

En aquest apartat es detallarà els diversos elements constitutius del sistema estudiat [3] [4] [8] [9]:

- Viga per a palanca, amb dos bolons de diàmetre 50mm
- Cinc engranatges cilíndrics d'acer (MOD.1 Z24, MOD.1 Z49, MOD.2 Z12, MOD.2,5 Z14 y MOD.2,5 Z46) amb acer AISI 1010.
- Cremallera d'acer



Figura 3 Cremallera d'hacer i engranatges

- 4 Eixos d'acer 45XA, amb 10mm i 8mm de diàmetre:

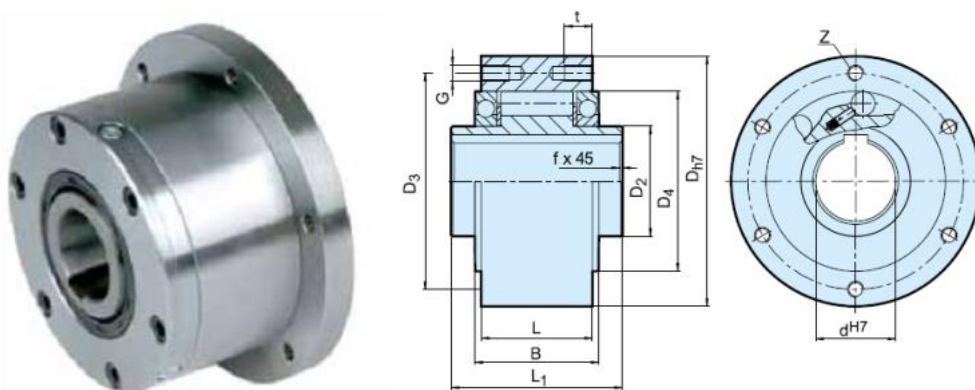


Figura 4 Embragatge

Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

- Eix 1 format per 1 pinyó de 30 dents rectes, 1 plat de 80 dents helicoidals, 1 xaveta 6x4x32mm i 5 de 6x4x18, 2 coixinets de boles de diàmetre 15,2 volanderes Seeger de diàmetre 15 i 2 de diàmetre 17 i Embragatge GFR15 F1F2, fabricat per Steiber.
- Eix 2 i 3 formats respectivament per 2 xavetes, 1 plat de 80 dents helicoidals i un pinyó de 30 dents helicoidals, 2 rodaments, 4 volanderes Seeger.
- Eix 4 format per 4 xavetes, 1 pinyó de 30 dents helicoidals, 2 lleves, 2 coixinets, 7 volanderes Seeger i Volant d'inèrcia massís d'acer dolç, amb massa de 5Kg. Es situa al final del últim eix de transmissió, just on comencen les lleves. Amb el volant d'inèrcia s'aconsegueix obtenir més revolucions per minut al final dels eixos.



Figura 5: Prototip conceptual de laboratori, Volant d'Inèrcia [3]

-10 coixinets, per als extrems dels eixos. Ajuden a reduir la fricció d'aquests en el moviment de rotació. D'aquesta manera s'aconsegueix una millora del rendiment



Figura 6 Xaveta



Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

- 16 volanderes Seeger
- 8 xavetes
- 8 rodaments
- 4 pinyons de 30 dents rectes de mòdul 2
- 4 plats de 80 dents helicoidals de mòdul 2
- 2 lleves amb acer 45XA
- 2 blocs de piezoelèctrics, formats per un eix de rodament, 20 pletines, 1 molla ,
2 porta pletines, una anima, una bancada, una caixa generador amb tapa
- 40 Piezoelèctrics DuraAct P-876-A12 de PI Ceramics, 61mm de llarg
- Pletines d'alumini de 75mmx55mmx0,5mm

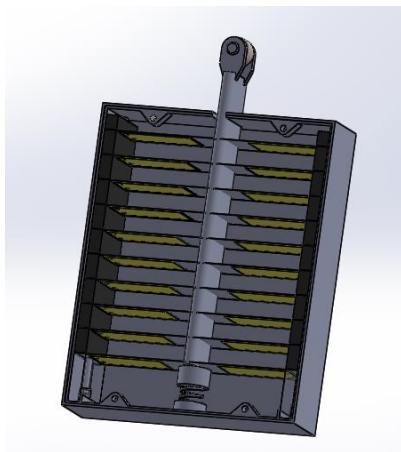


Figura 7 Armari amb els piezoelèctrics [3]

L'elecció d'acer en la majoria dels materials es va dur a terme en treballs anteriors [3]. No obstant en aquest estudi s'ha fet un anàlisi per comprovar si realment era la millor elecció, mitjançant el programa EduPack.

Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

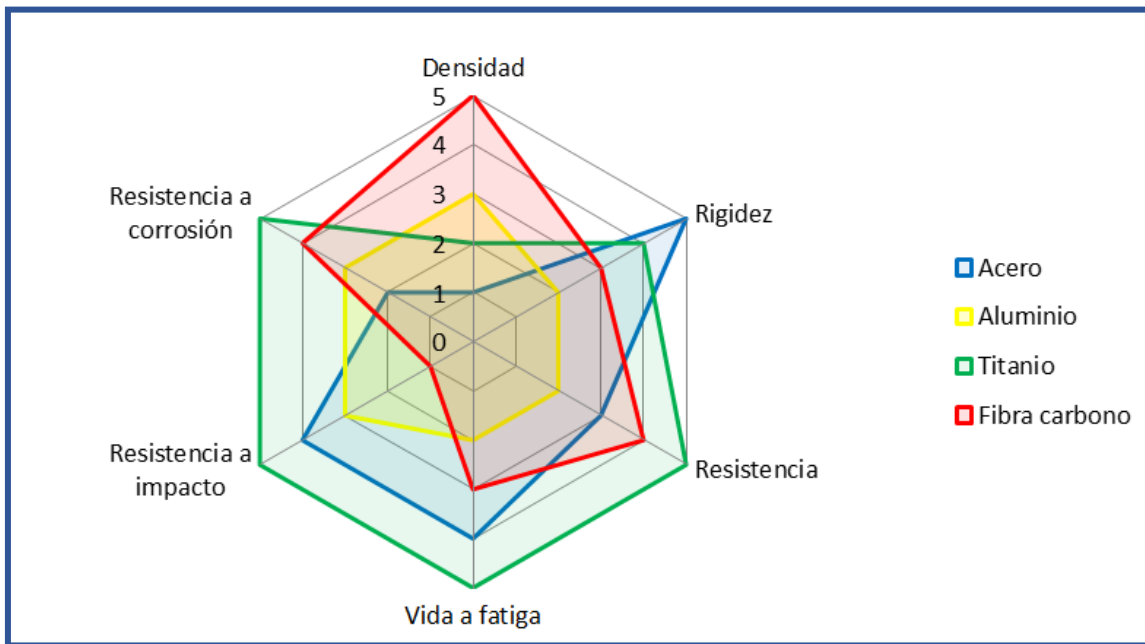



Figura 8 Propietats materials considerats

Degut a la resistència que han de tindre els materials, així com una bona vida a fatiga, sense comprometre el pressupost, l'acer es una bona elecció.

Sistema centraleta

- Nano Arduino
- Sensor llum
- Sensor piezo
- Sensor pluja
- Sensor temperatura i humitat
- Placa Protoboard

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 16 de 66

Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

6. Aplicació industrial

6.1 Funcionament

El prototip funciona aprofitant el pes del pas d'un vehicle. Aquest fa descendre la plataforma que es troba recolzada sobre 4 molles (les quals s'encarregaran de tornar-la a la posició inicial). Existeixen tres passos en la transformació de l'energia mecànica captada per la plataforma fins al seu posterior emmagatzematge i us per els piezoelèctrics.[3]

El primer pas es duu a terme en la palanca situada a l'interior de la bancada de captació. Aquesta s'encarrega de transformar el descens de la plataforma en ascendre un engranatge de cremallera situat al seu extrem. Depenen de la distribució de distàncies d'aquesta palanca, s'obtindrà més o menys velocitat a la cremallera, a canvi de perdre cert parell.



Figura 9 Ressalt del sistema per on passarà el vehicle [3]

Quan baixa, acciona un mecanisme de palanca, on es transmet la força fins al primer d'un conjunt d'eixos. Aquests formen un sistema multiplicador, en el primer eix s'inclou un embragatge per a que la força contrària que es generi no retorni al captador quan la cremallera retorni a la seva posició, a més de permetre l'aprofitament del pas de tots els eixos del vehicle. Amb això el que es busca es convertir el moviment recte del engranatge de cremallera en un de circular. Així doncs, al sortir del primer eix, la velocitat anirà augmentat d'eix en eix.

Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

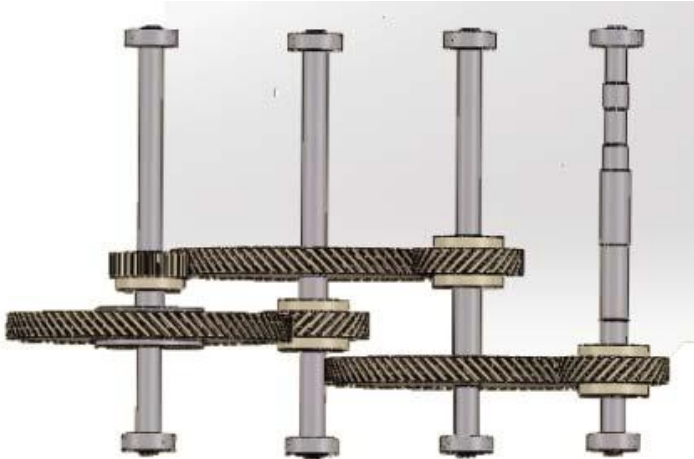


Figura 10 Sistema d'eixos [3]

Al final d'aquest sistema es col·loca un volant d'inèrcia, que aportarà al conjunt una inèrcia addicional per a emmagatzemar l'energia cinètica, reduint les fluctuacions causades per la velocitat angular. És a dir, es suavitzarà el moviment i flux d'energia.

Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

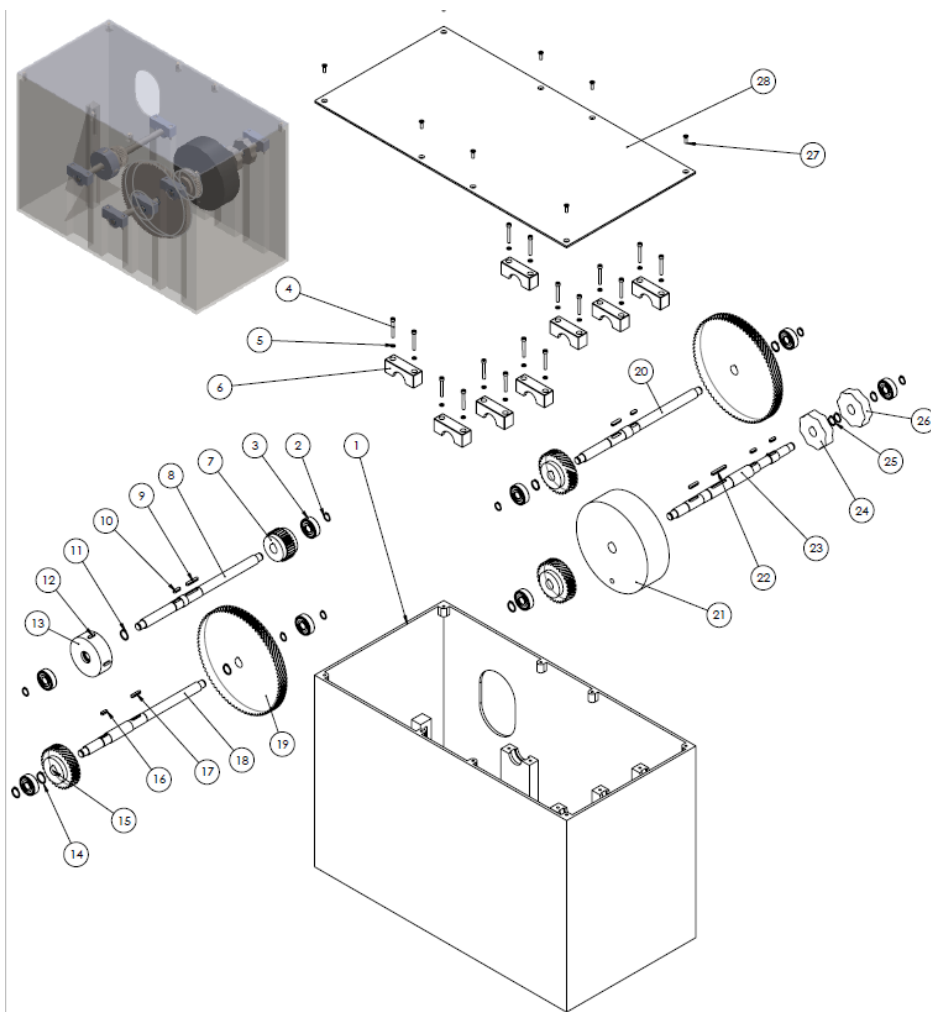


Figura 11 Desglosament dels components dins el sistema d'eixos [3]

Finalment, per a poder accionar les pletines on es situen els piezoelèctrics, s'haurà de tornar a transformar la rotació del sistema multiplicador en un moviment lineal. Això es durà a terme mitjançant un parell de lleves, conjuntament amb rodaments cadascuna. La seva situació permetrà minimitzar els efectes del moviment i de la vibració en la resta del conjunt, ja que quan una pugi, l'altra baixarà, quedant compensat el moviment

Pel que fa als piezoelèctrics, es col·locaran dos en els extrems de cada platina, dins d'un caixetí que tindrà al seu altre extrem una motlla que recuperarà la posició al moviment causat per la lleva, provocant la flexió dels piezoelèctrics. Al col·locar-ne dos, quan un treballi a compressió l'altre ho farà a tracció.

Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

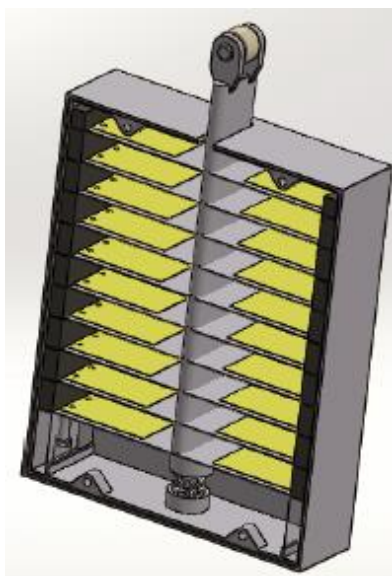


Figura 12 Conjunt de pletines [3]

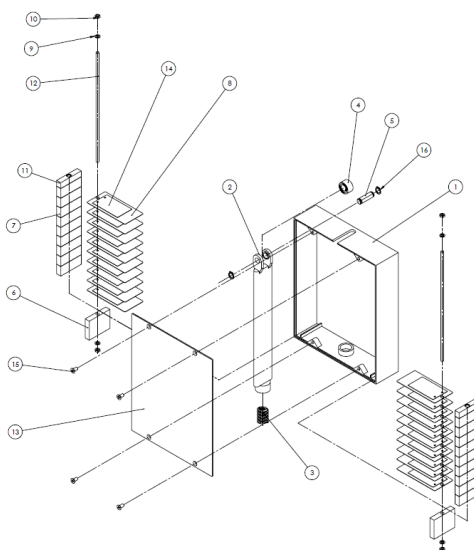




Figura 13 Desglosament armari piezoelectrics [3]

El moviment que rebrà el caixetí es transmetrà a les platines, que vibraran, i, conseqüentment, els piezoelèctrics situats als seus extrems. A causa d'això, es crearà un corrent elèctric que es farà servir per a posar en marxa la centralita i il·luminar si

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 20 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

s'escau, la senyal lumínica. La vibració dels piezoelèctrics vindrà determina per el desplaçament imposat al extrem de la platina, la freqüència del qual serà decreixent en el temps mentre que la amplitud serà constant i vindrà definida per les lleves.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 21 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

7. Estudis realitzats

El sistema a implementar ha estat estudiat prèviament, centrant-se però la majoria dels anàlisis en una única part, és a dir, analitzant d'una banda la part elèctrica mentre que l'altra estudiava en més detall la captació mecànica, provocant errors entre ells a l'hora de voler acoblar el sistema en un. D'aquesta manera, des d'una visió externa i global, s'analitzaran els diversos estudis fets i es caracteritzaran els errors i problemes trobats. En següents apartats s'aplicaran les diverses optimitzacions proposades.

7.1 Sistema Mecànic

Pel que fa al captador mecànic, en els estudis realitzats per als càlculs de les forces teòriques esperades, es basava en un prototip el qual no funcionava exactament com s'esperava. El treball, tot i que partia d'una gran part de hipòtesis correctes, no totes ho acabaven sent, a més a més que alguns dels càlculs realitzats estaven mal plantejats i resolts. Així doncs en l'apartat d'optimitzacions s'inclourà el conjunt de càlculs realitzats així com el procés a seguir per a un usuari qualsevol que volgués implementar el sistema, incloent una fulla de càlcul definida on només seria necessari introduir les variables desitjades per a obtenir resultats i fer més fàcil el seu estudi. [3]

7.2 Sistema Electric

Els elements piezoelèctrics transformen l'energia mecànica que reben en una d'elèctrica. El problema radica en que aquesta energia no es apta per al consum de dispositius doncs es electricitat amb pics positius i negatius proporcionals a la direcció de la pressió. [4][8]

D'aquesta manera es requereix d'un procés de transformació de la senyal elèctrica per a obtenir una tensió continua sense pics negatius de manera que es puguin fer servir els aparells desitjats.

Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

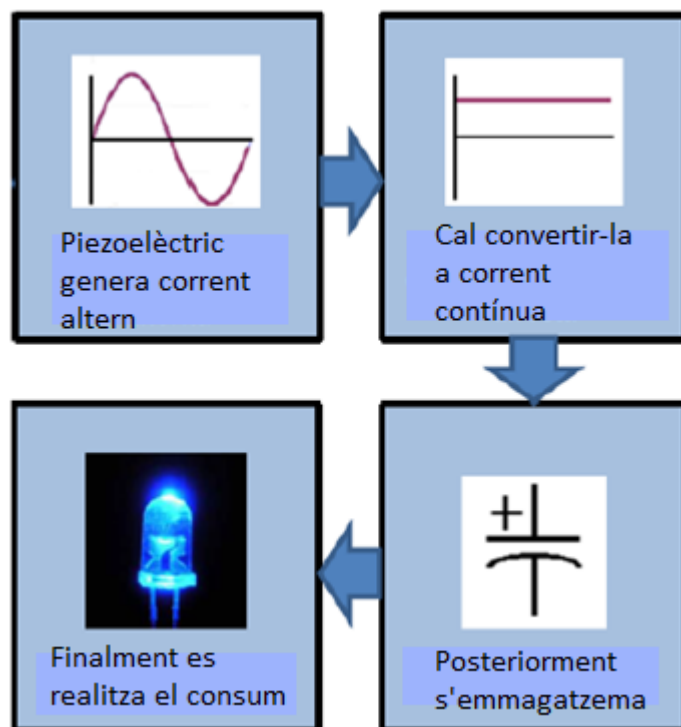


Figura 14 Mapa conceptual adaptació ona [4]

En els treball encarregat d'aquesta part, es va analitzar la estructura que havia de disposar el circuit. Amb condensadors de baixa capacitat, s'aconseguia el nivell màxim de tensió més ràpidament que en condensadors de major capacitat, a canvi però de menys emmagatzematge d'energia.

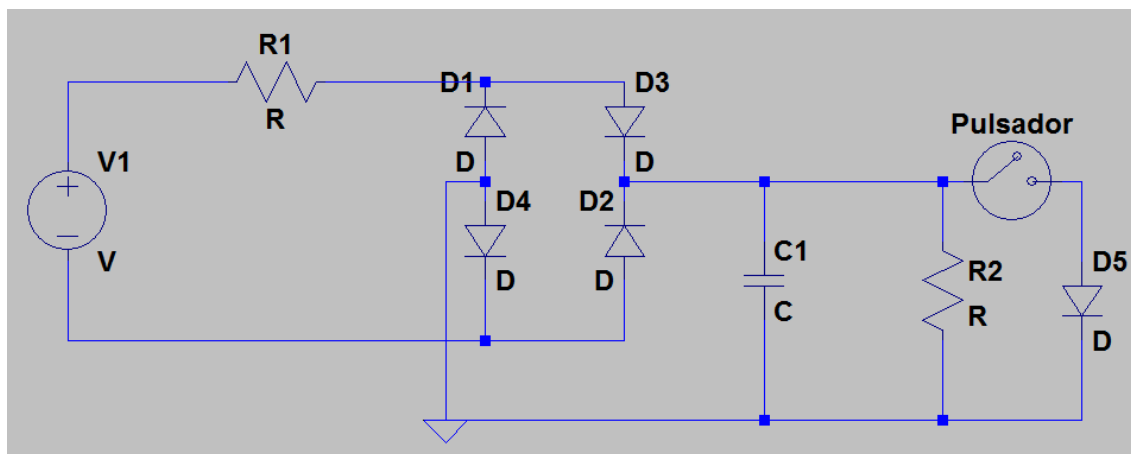



Figura 15 Circuit inicial [4]

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 23 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Així doncs, en l'apartat de optimització corresponent a aquesta part, s'analitzarà si aquest circuit es el més adient per a la transformació de l'energia, i la potencia que aportarà.

7.3 Centraleta

Finalment, en l'estudi fet sobre la centraleta, tot el plantejament queda suficientment validat i correcte. Es basa en implementar una placa nano arduino (classe amb menys consum) per a establir quan s'hauria d'encendre el panell. Els sensors seleccionats són 4 (temperatura i humitat, piezoelèctric, pluja, llum), seleccionats de manera que el seu consum fos el més petit possible sempre i quan treballessin amb les condicions desitjades. [9]

No obstant en la part de programació de la placa, només quedaven definits els codis dels sensors, amb llibreries que ara són obsoletes, i mancant el codi d'implementació global amb les condicions desitjades de quan s'hauria d'enegar el panell.

En l'apartat d'optimització d'aquest cas, es crearà un nou codi per a tot el sistema, testejat i validat, per a obtenir les lectures del sistema amb les condicions establertes, i afegint-hi millores per a reduir el consum total.[9]

8. Optimitzacions

8.1 Captador

Per a començar a realitzar els càlculs teòrics del sistema mecànic, haurem de dur a terme diverses hipòtesis.

En primer lloc, suposarem que F_1 (força que empeny la plataforma) consistirà en el pes mitjà d'un cotxe actual més el pes de la plataforma. El pes del cotxe el suposarem que es reparteix uniformement a través dels seus eixos, de manera que quan actuïn en primer lloc les rodes davanteres, el pes que actuarà serà la meitat. Partint d'una massa de cotxe mitjà d'uns 1000kg (repartida entre 500 i 500) i de la massa de la plataforma de 356,5kg, es situa F_1 amb un valor de 856,5kg.[3]

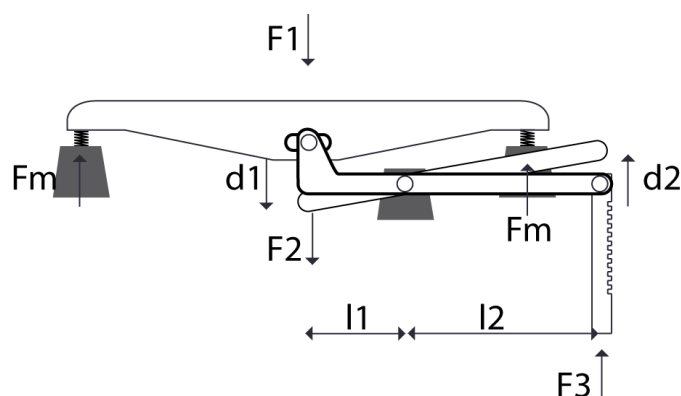



Figura 16 Esquema de forces inicials [3]

Observant la imatge es veu que la F_1 acciona el sistema, la força de les motlles, F_m (format per 4) s'oposaran al moviment, i F_2 serà la força resultant que es transmetrà a la palanca de longituds l_1 i l_2 . Per termes d'instal·lació, d_1 es la distància que pot arribar a baixar la plataforma a causa del pas dels vehicles, la qual està limitada a 0,015m. d_2 serà la distància que podrà arribar a ascendir la cremallera, que actuarà amb una força F_3 . [3]

Pel que fa a F_3 , serà la força que entrarà al sistema multiplicador. Aquesta força vindrà relacionada amb l'embragatge instal·lat, el qual té un parell de resistència de 125N·m que s'ha de vèncer per desembragar, amb el radi del pinyó r_1 de 0,08m.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 25 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Type	Size	Overrunning speeds								Number								Weight
	d^{H7} [mm]	$T_{KN}^{(1)}$ [Nm]	$n_{max}^{(2)}$ [min ⁻¹]	$n_{max}^{(3)}$ [min ⁻¹]	D_{H7} [mm]	D_2 [mm]	D_4 [mm]	D_3 [mm]	G	t [mm]	z	L_1 [mm]	L [mm]	B [mm]	t_1 [mm]	b^{P10} [mm]	f [mm]	[kg]
GFR GFRN	12*	55	4000	7200	62	20	42	51	ø5,5	—	3	42	20	27	2,5	4	0,5	0,5
	15	125	3600	6500	68	25	47	56	M5	8	3	52	28	32	3	5	0,8	0,8
	20	181	2700	5600	75	30	55	64	M5	8	4	57	34	39	3,5	6	0,8	1,0
	25	288	2100	4500	90	40	68	78	M6	10	4	60	35	40	4	8	1,0	1,5
	30	500	1700	4100	100	45	75	87	M6	10	6	68	43	48	4	8	1,0	2,2
	35	725	1550	3800	110	50	80	96	M6	12	6	74	45	51	5	10	1,0	3,0
	40	1025	1150	3400	125	55	90	108	M8	14	6	86	53	59	5	12	1,5	4,6
	45	1125	1000	3200	130	60	95	112	M8	14	8	86	53	59	5,5	14	1,5	4,7
	50	2125	800	2800	150	70	110	132	M8	14	8	94	64	72	5,5	14	1,5	7,2
	55	2625	750	2650	160	75	115	138	M10	16	8	104	66	72	6	16	2,0	8,6
	60	3500	650	2450	170	80	125	150	M10	16	10	114	78	89	7	18	2,0	10,5
	70	5750	550	2150	190	90	140	165	M10	16	10	134	95	108	7,5	20	2,5	13,5
	80	8500	500	1900	210	105	160	185	M10	16	10	144	100	108	9	22	2,5	18,2
	90	14500	450	1700	230	120	180	206	M12	20	10	158	115	125	9	25	3,0	28,5
	100	20000	350	1450	270	140	210	240	M16	24	10	182	120	131	10	28	3,0	42,5
	130	31250	250	1250	310	160	240	278	M16	24	12	212	152	168	11	32	3,0	65,0
	150	70000	200	980	400	200	310	360	M20	32	12	246	180	194	12	36	4,0	138,0

Figura 17: Especificacions del embragatge instal·lat

Per tant podem deduir la F_3 de sortida (es a dir, la contraria a la figura 15, creada per l'embragatge) amb la formula del parell, $T=F \cdot r$, en aquest cas:


$$F_3^* = \frac{T_{KN}}{r_1} = 1562,50 \text{ N}$$

Aquesta força, serà la que faci empènyer la plataforma cap a dalt i retornar-la a la seva posició inicial, causada per l'embragatge instal·lat, i que ens servirà per al càlcul de la constant elàstica mínima que han de tindre les molles.

Aquesta força de retorn del embragatge, equivaldrà a la F_2 de retorn per mitjà de la palanca com:

$$F_3^* \cdot l_2 = F_2^* \cdot l_1$$

$$\frac{d_1}{l_1} = \frac{d_2}{l_2}$$

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 26 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		


En F3, el seu valor dependrà de la relació que s'estableixi entre l_1 i l_2 . S'haurà de valorar si es vol una distància curta, obtenint molt parell, o bé més velocitat amb més llargària de moviment.

Per temes de disseny, $l_1 + l_2 \geq 1,7\text{m}$, que es la llargària mínima que es podria aprofitar en una carretera.

Amb les dades disponibles, s'analitzarà els possibles valors de F3, tenint en compte F2, l_1 i l_2 .

F1(N)	$l_1(\text{m})$	$l_2(\text{m})$	$d_2(\text{m})$	$d_1(\text{m})$	F3*(N)	F2*(N)
8330	0,85	0,85	0,015	0,015	1562,50	1562,50
8330	0,8	0,9	0,017	0,015	1562,50	1757,81
8330	0,7	1	0,021	0,015	1562,50	2232,14
8330	0,6	1,1	0,028	0,015	1562,50	2864,58
8330	0,5	1,2	0,036	0,015	1562,50	3750,00
8330	0,4	1,3	0,049	0,015	1562,50	5078,13
8330	0,3	1,4	0,070	0,015	1562,50	7291,67
8330	0,2	1,5	0,113	0,015	1562,50	11718,75
8330	0,1	1,6	0,240	0,015	1562,50	25000,00
8330	0,9	0,8	0,013	0,015	1562,50	1388,89
8330	1	0,7	0,011	0,015	1562,50	1093,75
8330	1,1	0,6	0,008	0,015	1562,50	852,27
8330	1,2	0,5	0,006	0,015	1562,50	651,04
8330	1,3	0,4	0,005	0,015	1562,50	480,77
8330	1,4	0,3	0,003	0,015	1562,50	334,82
8330	1,5	0,2	0,002	0,015	1562,50	208,33
8330	1,6	0,1	0,001	0,015	1562,50	97,66

Taula 1: Forces de retorn


 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 27 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Amb els resultats obtinguts, es poden començar a fer els càlculs suposant una $F2^*$ de 2864,6N, per a que hi hagi un cert equilibri de moviment i parell. Després s'estudiaran els valors que s'obtidrien estructurant la palanca amb diferents distàncies.

S'ha d'analitzar però, considerant els valors teòrics mínims que hauria de tindre les molles, com afectaran després a la força que es pugui aprofitar del pes dels vehicles. Per això s'haurà d'analitzar com influenciarà la relació de palanca per aquests termes:

F1(N)	l1(m)	l2(m)	d2(m)	d1(m)	F2*(N)	Fm(N)	F2(N)
8330	0,85	0,85	0,015	0,015	1562,50	5056,20	3273,80
8330	0,8	0,9	0,017	0,015	1757,81	5251,51	3078,49
8330	0,7	1	0,021	0,015	2232,14	5725,84	2604,16
8330	0,6	1,1	0,028	0,015	2864,58	6358,28	1971,72
8330	0,5	1,2	0,036	0,015	3750,00	7243,70	1086,30
8330	0,4	1,3	0,049	0,015	5078,13	8571,83	-241,83
8330	0,3	1,4	0,070	0,015	7291,67	10785,37	-2455,37
8330	0,2	1,5	0,113	0,015	11718,75	15212,45	-6882,45
8330	0,1	1,6	0,240	0,015	25000,00	28493,70	-20163,70
8330	0,9	0,8	0,013	0,015	1388,89	4882,59	3447,41
8330	1	0,7	0,011	0,015	1093,75	4587,45	3742,55
8330	1,1	0,6	0,008	0,015	852,27	4345,97	3984,03
8330	1,2	0,5	0,006	0,015	651,04	4144,74	4185,26
8330	1,3	0,4	0,005	0,015	480,77	3974,47	4355,53
8330	1,4	0,3	0,003	0,015	334,82	3828,52	4501,48
8330	1,5	0,2	0,002	0,015	208,33	3702,03	4627,97
8330	1,6	0,1	0,001	0,015	97,66	3591,36	4738,64

Taula 2: Forces de retorn i inicials

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 28 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Analitzant aquesta taula, s'extreu que si interessa obtenir la màxima força possible, l1 haurà de ser considerablement superior a l2. Igualment, s'obtindrà major freqüència, amb velocitats angulars teòricament molt elevades, que s'hauria de comprovar experimentalment si el sistema podria suportar-ho. Cal destacar que aquest estudi en basa en la disposició del prototip instal·lat, i per a tenir una referencia, per a futurs projectes serviria com a dada per decidir quina seria la geometria adequada.

Per tindre una idea de quan podríem arribar a obtenir en aquest cas, s'estudiarà pensant en que s'obtenen 2864,6N del pas dels cotxes.

Ara es pot determinar quina hauria de ser la constant elàstica mínima de les motlles per a suportar la càrrega donada:

$$F_2^* + Pes_{plataforma} = k \cdot d_1$$

$$F_m = k \cdot x;$$

$$k_{min} = \frac{(Pes_{plataforma}) + F_2^+}{4x} = 105,9kN/m$$

Es sap per la estructuració, que la distancia de les molles ve definida per 0,015m, i el pes de la plataforma està valorat com 356,5 Kg.

Sabent la k mínima, es pot trobar quina serà la força d'entrada que es transmetrà al sistema de palanca, causada pel pas dels vehicles, tal i com s'ha analitzat a la taula anterior:

$$F_1 - 4F_m = F_2$$

$$F_2 = 8330 - 4 \cdot 0,015 \cdot 105971 = 1971,716N$$

I per geometria

$$F_3 = F_2 * \frac{l_1}{l_2} = 3742,55 * \frac{1}{0,7} = 1075,482 \text{ N}$$

Procedim al càlcul dins el sistema on es situen els piezoelèctrics, que consisteix en un voladís com es pot veure en la figura següent:

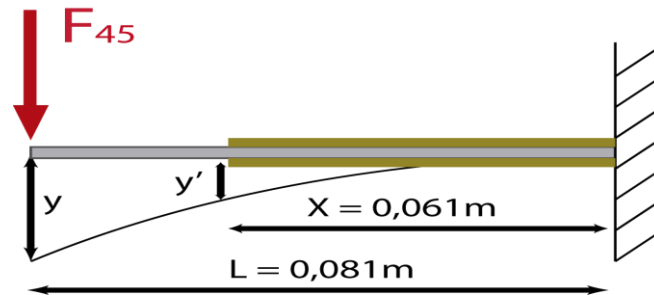


Figura 18 Esquema voladís [3]

La força F_{45} és la que s'aplicarà en el voladís, creada per el sistema multiplicador, i que crearà la vibració en els piezoelèctrics. Fent sumatori de forces en el sistema:


$$\sum F_y = 0; \quad Y_A = P$$

$$\sum M_Z = 0; \quad M_A = PL$$

Per al càlcul del desplaçament vertical, haurem de fer us del segon teorema de Mohr

$$V_B = V_A + \theta_A(x_B - X_A) + \int_A^B \frac{M(x)}{E \cdot I_Z} (x_B - x(x)) dx$$

Es sap la inèrcia de la làmina ja que es coneixen les seves mesures :

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 30 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{4,5 \cdot 0,05^3}{12} = 4,6875 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^4$$

La força per aconseguir el desplaçament vertical de la lamina vindrà donada per:

$$F'_{45} = \frac{3EI \cdot Y}{L^3} = \frac{3 \cdot 70 \cdot 10^5 \cdot 4,6875 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2}{8,1^3} = 0,378 \text{ N}$$

Es pot determinar ara el desplaçament vertical resultant:

$$y' = \frac{F'_{45} \cdot x^2}{6EI} \cdot (3L - x) = \frac{0,378 \cdot 6,1^2}{6 \cdot 70 \cdot 10^5 \cdot 4,6875 \cdot 10^{-5}} \cdot (3 \cdot 8,1 - 6,1) = 0,13 \text{ cm}$$

Es procedeix ara a calcular la força que rebran les lleves del sistema, així com la constant d'elasticitat mínima que necessitarà la molla situada davall de la calaixera amb els piezoelèctrics. Hi ha instal·lades 20 laminees a cada generador.

$$n \cdot F'_{45} + \delta \cdot k_a = F_{LL}$$

$$F_{LL} = 20 \cdot 0,378 + 0,002 \cdot 3780 = 14,81 \text{ N}$$

On n correspon al nombre de piezoelèctrics instal·lats, δ la distancia que es mourà el armari de pletines amb la corresponent constant d'elasticitat de la molla recuperadora del final del sistema. La distància vindrà configurada per el sistema creat mateix, i haurà de correspondre a una longitud no superior als 2mm.

$$\delta \cdot k_a = n \cdot F'_{45}$$

$$k_a = 3,78 \text{ kN/m}$$

Un cop coneguda la força que entrarà al conjunt d'eixos, passem a estudiar el sistema de transmissió dels eixos, sense tenir en compte les pèrdues per fregament o embrague, on es compliran les següents equacions:

$$F_{p1} \cdot r_{p1} - F_{g1} \cdot r_{g1} = I_1 \cdot \alpha_1$$

$$F_{g1} = F_{p2}$$

$$F_{p2} \cdot r_{p2} - F_{g2} \cdot r_{g2} = I_2 \cdot \alpha_2$$

$$F_{g2} = F_{p3}$$

$$F_{p3} \cdot r_{p3} - F_{g3} \cdot r_{g3} = I_3 \cdot \alpha_3$$

$$F_{g3} = F_{p4}$$

$$F_{p4} \cdot r_{p4} - F_{II} \cdot r_{II} = I_4 \cdot \alpha_4$$

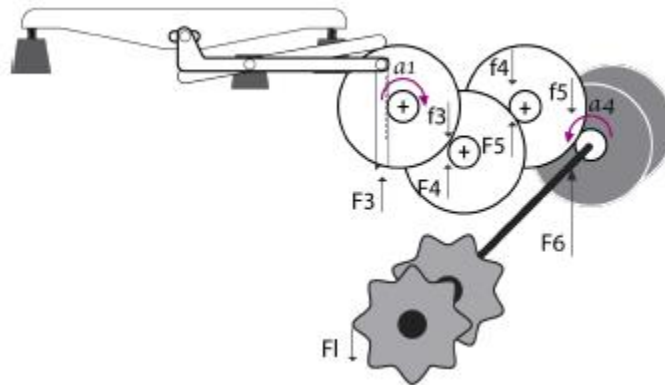



Figura 19: Distribució de forces [3]

Per a resoldre el sistema, s'ha de donar una dada d'entrada que pot ser la F_p , trobada amb els càlculs anteriors (F_2) o bé a partir de α_1 . S'avaluarà primer desconeixent el valor de l'acceleració angular, i després es compararan els valors obtinguts.

Sabem que $F_{p1} = F_3$, ja que equival a la força d'entrada que li arriba al sistema causat pel pas d'un vehicle.

La força final del sistema F_{II} , es la que li arribarà a les llesques que inclouen les pletines amb els piezoelèctrics.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 32 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Disposem d'un sistema de 7 equacions amb 7 incògnites que son: F_{g2}, F_{g3}, F_{g4} i $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$.

Les F_g són les forces que es transmeten per els plats dels eixos i les F_p als pinyons.

Busquem les relacions existents entre les diferents acceleracions angulars dels eixos.

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot \frac{R_1}{r_2}$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 \cdot \frac{R_2}{r_3}$$

$$\alpha_4 = \alpha_3 \cdot \frac{R_3}{r_4}$$

Pel que fa a α_1 , una manera de calcular la aproximació seria tenint en compte el pas dels vehicles, es a dir, sabent el temps que triga en passar per la plataforma, es el temps que l'engranatge de cremallera baixarà fins baix. Aquest valor però, es considerarà incògnita en la resolució del sistema, ja que es prefereix suposar com a dada la força d'entrada.

$$d = d_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$


$$a = \frac{2d}{t^2}$$

I el temps que triga el vehicle el podem estudiar amb:

$$X = V \cdot t$$

v (km/h)	v(m/s)	x(m)	t(s)
10	2,778	1	0,36
15	4,167	1	0,24
20	5,556	1	0,18
25	6,944	1	0,144

Taula 3: Evolució velocitat-temps

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 33 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Considerant doncs el cas més comú de 20 km/h, obtindrem un temps de 0,18s

En aquest temps, la cremallera podrà baixar uns 0,01m. La acceleració angular del primer plat, coincideix amb la lineal de la cremallera. Aleshores torna a entrar en joc, la divisió triada abans de la palanca. Fent un anàlisi de com afecta la estructuració.


l1 (m)	l2(m)	d2 (m)	d1 (m)	F2* (N)	Fm (N)	F2 (N)	a (m/s)
0,85	0,85	0,015	0,015	1562,50	5056,20	3273,80	0,926
0,8	0,9	0,017	0,015	1757,81	5251,51	3078,49	1,042
0,7	1	0,021	0,015	2232,14	5725,84	2604,16	1,323
0,6	1,1	0,028	0,015	2864,58	6358,28	1971,72	1,698
0,5	1,2	0,036	0,015	3750,00	7243,70	1086,30	2,222
0,4	1,3	0,049	0,015	5078,13	8571,83	-241,83	3,009
0,3	1,4	0,070	0,015	7291,67	10785,37	-2455,37	4,321
0,2	1,5	0,113	0,015	11718,75	15212,45	-6882,45	6,944
0,1	1,6	0,240	0,015	25000,00	28493,70	-20163,70	14,815
0,9	0,8	0,013	0,015	1388,89	4882,59	3447,41	0,823
1	0,7	0,011	0,015	1093,75	4587,45	3742,55	0,648
1,1	0,6	0,008	0,015	852,27	4345,97	3984,03	0,505
1,2	0,5	0,006	0,015	651,04	4144,74	4185,26	0,386
1,3	0,4	0,005	0,015	480,77	3974,47	4355,53	0,285
1,4	0,3	0,003	0,015	334,82	3828,52	4501,48	0,198
1,5	0,2	0,002	0,015	208,33	3702,03	4627,97	0,123
1,6	0,1	0,001	0,015	97,66	3591,36	4738,64	0,058

Taula 4: Acceleració en funció de les forces

Amb la geometria seleccionada s'obté una acceleració molt petita, no obstant s'analitza el sistema partint d'una força d'entrada donada (F3) es veurà quina acceleració angular s'arribarà a obtenir amb aquesta carrega.

La resta d'acceleracions angulars vindran donades per

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot \frac{R_1}{r_2} = \left(\frac{rad}{s^2} \right) \cdot \frac{0,113}{0,08}$$

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 34 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

$$\alpha_3 = \alpha_2 \cdot \frac{R_2}{r_3} = \left(\frac{rad}{s^2} \right) \cdot \frac{0,113}{0,08}$$

$$\alpha_4 = \alpha_3 \cdot \frac{R_3}{r_4} = \left(\frac{rad}{s^2} \right) \cdot \frac{0,113}{0,08}$$

Ara es pot retornar al sistema d'equacions i procedir a la seva resolució

Les inèrcies del sistema vindran donades per les dades que tenim dels respectius eixos. Tenint en compte la seva formula corresponent al de l'eix cilíndric:

$$I_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

Sistema eix 1			
Element	Radi (m)	Massa (Kg)	Inèrcia (Kg·m ²)
Eix 1	0,0075	0,762	$2,143 \cdot 10^{-5}$
Plat 1	0,113	6,265	0,04
Pinyó 1	0,08	0,705	$2,256 \cdot 10^{-3}$

Taula 5: Inèrcia eix 1

$$I_1 = 0,042277 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Per als eixos 2 i 3, al tindre els mateixos components, les seves inèrcies tindran el mateix valor



Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

Sistema eix 2			
Element	Radi (m)	Massa (Kg)	Inèrcia (Kg·m ²)
Eix 2	0,0075	0,762	$2,143 \cdot 10^{-5}$
Plat 2	0,113	6,265	0,04
Pinyó 2	0,08	1,174	$3,7568 \cdot 10^{-3}$

$$I_2 = I_3 = 0,043778 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Sistema eix 4			
Element	Radi (m)	Massa (Kg)	Inèrcia (Kg·m ²)
Eix 4	0,0075	0,861	$2,42156 \cdot 10^{-5}$
Pinyó 4	0,08	1,174	$3,7568 \cdot 10^{-3}$
Volant inèrcia	0,05	13,6	0,017
Lleves	0,037	0,619	$4,23705 \cdot 10^{-4}$

Taula 7: Inèrcia eix 4

$$I_4 = 0,021628 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

El sistema d'equacions final queda com:

$$F_3 \cdot r_1 - F_4 \cdot R_1 = I_1 \cdot \alpha_1$$


$$F_4 \cdot r_2 - F_5 \cdot R_2 = I_2 \cdot \alpha_2$$

$$F_5 \cdot r_3 - F_6 \cdot R_3 = I_3 \cdot \alpha_3$$

$$F_6 \cdot r_4 - F_{II} \cdot r_{II} = I_4 \cdot \alpha_4$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot \frac{R_1}{r_2}$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 \cdot \frac{R_2}{r_3}$$

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 36 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

$$\alpha_4 = \alpha_3 \cdot \frac{R_3}{r_4}$$

F3=1274,171N	Fll= 7,567N	rl= 0,037mm
R1= 0,113mm	r1= 0,08mm	l1=0,042277mm
R2= 0,113mm	r2= 0,08mm	l2=0,043778mm
R3= 0,113mm	r3= 0,08mm	l3=0,043778mm
R4= 0,113mm	r4= 0,08mm	l4=0,021628mm

Solució:

$\alpha_1 \approx 177,635 \text{ rad/s}^2$	$\alpha_2 \approx 250,91 \text{ rad/s}^2$	$\alpha_3 \approx 354,411 \text{ rad/s}^2$	$\alpha_4 \approx 500,6 \text{ rad/s}^2$
F4 $\approx 694,943 \text{ N}$	F5 $\approx 394,788 \text{ N}$	F6 $\approx 142,192 \text{ N}$	

Obtingudes les acceleracions angulars, podem definir quina serà la vibració en l'anima del armari, i conseqüentment, la vibració que patiran els piezoelèctrics. Partint de l'acceleració angular del últim eix, trobem la velocitat angular

$$w_4 = \alpha_4 * t$$

$$w_4 = 0,18 * 500,6 = 90,108 \text{ rad/s}$$

Ho passem a revolucions per minut:

$$90,108 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ rev.}}{2\pi \text{ rad}} = 860,468 \text{ min}^{-1}$$

I finalment si ho passem a Hertz obtindrem la freqüència:

$$w_4 = 85,369 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} = 14,34 \text{ Hz}$$

Aquesta freqüència de rotació vindrà amplificada per les dents de la lleva que accionen l'ànima del armari generador quedant com:

$$f = w_4 \cdot n_{LL}$$

$$f = 13,59 \text{ (Hz)} \cdot 8 = 108,7 \text{ Hz}$$

$$f = 114,73 \text{ Hz}$$

Per a poder dur a terme estudis d'instal·lacions alternatives, s'ha elaborat un full de càlcul que permet calcular automàticament els valors que s'obtidran de forces i freqüències a partir de la geometria interessada. D'aquesta manera un usuari qualsevol pot comprovar que seria més òptim per al seu cas.

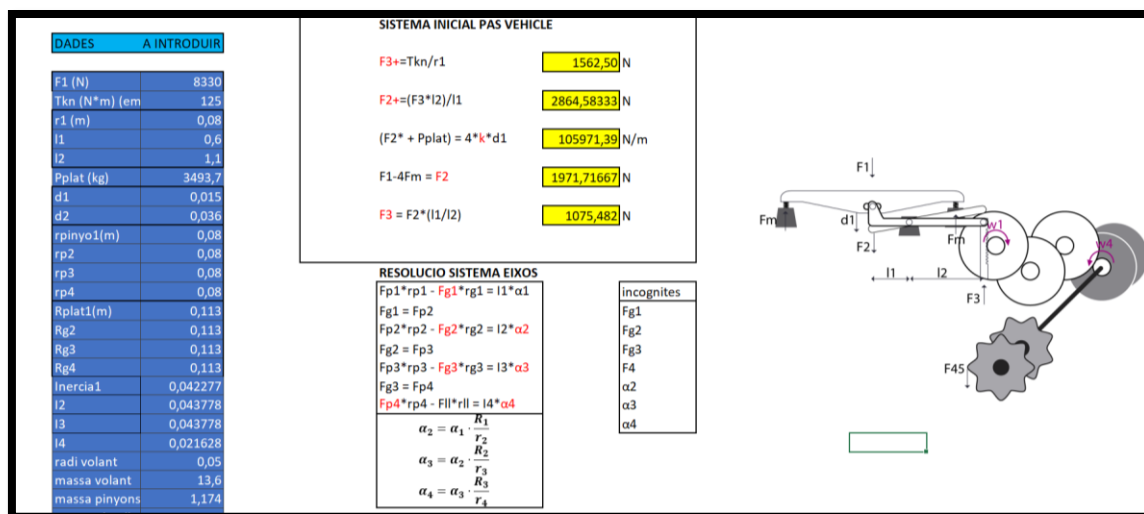


Figura 20: Fulla de càlcul 1

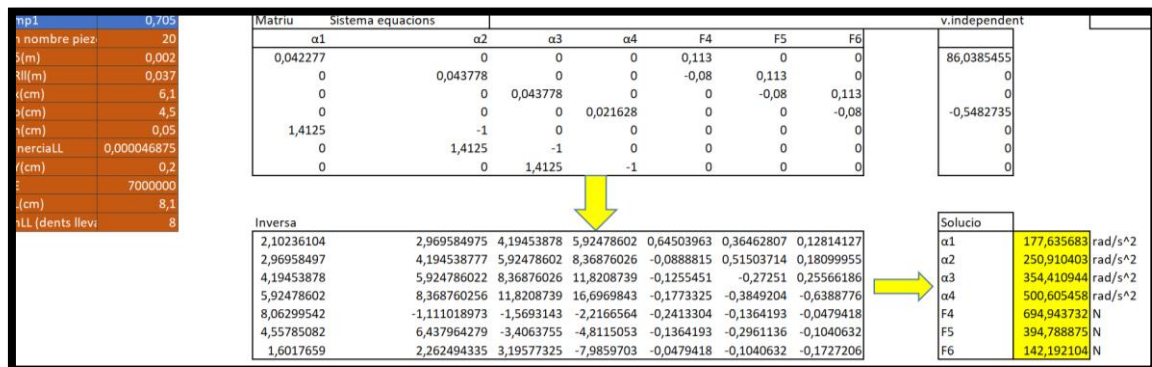


Figura 21: Resolució automàtica sistema 7 equacions


8.2 Centraleta

El sistema de la centraleta és necessari ja que degut a que l'energia creada per els piezoelèctrics no es molt elevada, s'ha de distribuir de forma eficient. Amb una centraleta de baix consum es podrà determinar en quins casos es creu oportú enviar energia al consumidor.

La centraleta serà el sistema format per una nano Arduino (ja que es el millor tipus relació prestacions-consum energètic), la qual tindrà instal·lats diversos sensor que detectaran les condicions que es desitgin a l'hora d'encendre el panell.

Els sensors dels quals es disposaran seran:

- Sensor piezoelèctric: Serà el sensor encarregat de detectar moviment dins el sistema, i en cas positiu retornar la informació a la placa base.
Per al prototip s'ha seleccionat el sensor Grove piezo-sensor, no obstant, en els assaigs realitzats com es pot observar en les imatges següents, la seva precisió de mesura no era suficient rigorosa, i de fet al principi es dubtava del seu estat, amb el que es recomana la instal·lació d'un altre tipus.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 39 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

```

void init_sensor_piezo() {
  pinMode(ledPin,OUTPUT); //variable es una salida
}

void sm_sensor_piezo() {

  sensorState = digitalRead(PIEZO); //leemos sensor

}

```

Figura 22: codi piezoelèctric

```

const int PIEZO_PIN = A0; // Piezo output

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // Read Piezo ADC value in, and convert it to a voltage
  int piezoADC = analogRead(PIEZO_PIN);
  float piezoV = piezoADC / 1023.0 * 5.0;
  Serial.println(piezoV); // Print the voltage.
}

```

Figura 23: Codi funcionament sensor piezo

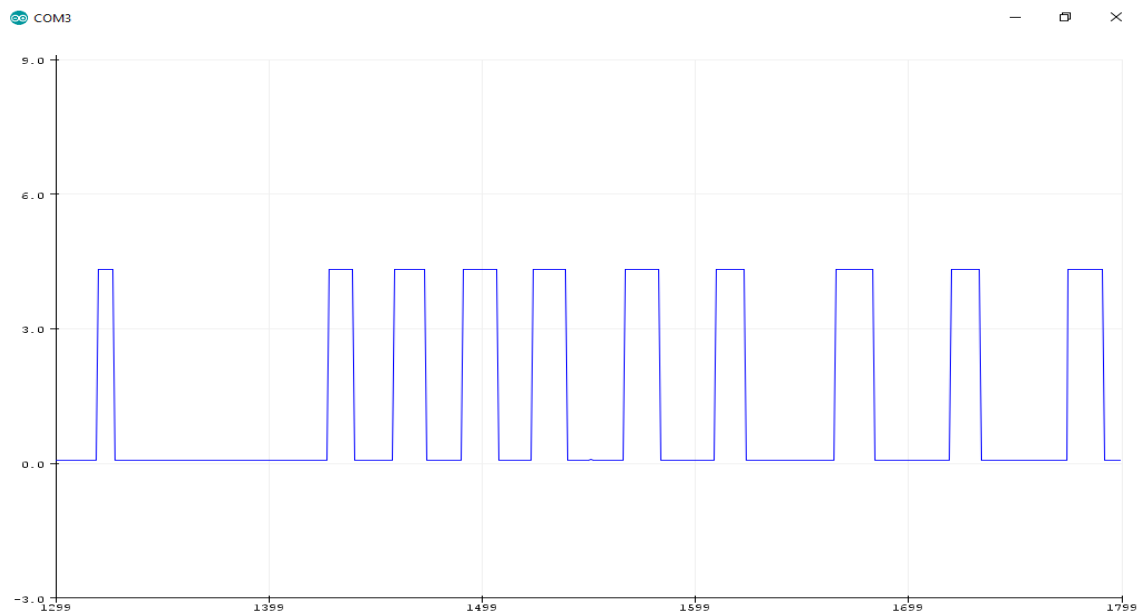


Figura 24: Senyal rebuda pel sensor piezoelèctric

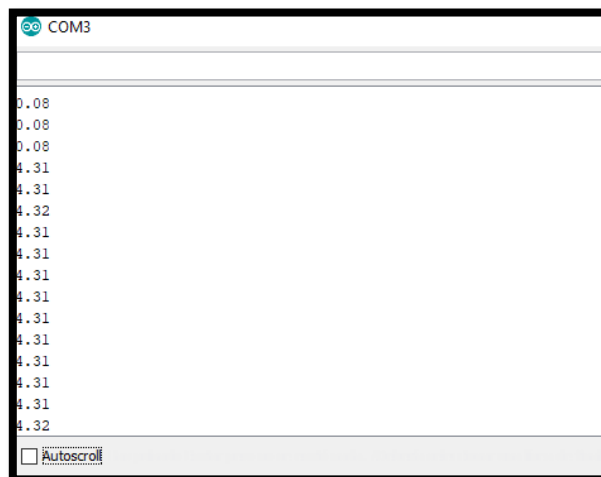



Figura 25: Lectures sensor piezoelèctric

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 41 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

- Sensor lumínic: Avaluarà la quantitat de llum disponible, i en el cas que no arribi al mínim establert, procedirà a encendre el panell, al pas d'un vehicle.

En el cas del prototip, es fa servir el mòdul BH1750, sensor de il·luminació digital que la seva resposta és millor a la d'un fotoresistor (LDR)

Per al codi, requereix de la instal·lació d'una biblioteca (https://github.com/Genotronex/BH1750FVI_Master)

```
#include<Wire.h>
#include<BH1750FVI.h> // iniciamos libreria para poder leer sensor
// conecta a A5 i A4

BH1750FVI luxometro;

void init_sensor_luminico(){


  luxometro.begin();
  luxometro.SetAddress(Device_Address_H);
  luxometro.SetMode(OneTime_L_resolution_Mode);
}

void sm_sensor_luminico() {
  uint16_t lux = luxometro.GetLightIntensity(); //lee nivel de luz

  if (lux <= 30 ){
    luz = true;
  }
  else {
    luz = false;
  }
}
```

Figura 26: Codi sensor llum

- Sensor humitat i temperatura: Llegirà la temperatura i humitat de l'ambient. S'establirà que doni senyal d'activació quan la temperatura sigui baixa i la humitat alta.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 42 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Aquí esta seleccionat el sensor DHT11, per les característiques de baix consum, preu econòmic i resposta amb dades digitals. Cal notar que aquest sensor dona les lectures de temperatura i humitat en valors enters.

També requerirà d'una biblioteca per a la implementació del codi.

```
#include "DHT.h"
#define DHPIN 3 //Seleccionamos el pin en el que se conectara el sensor temperatura
#define DHTYPE DHT11
DHT dht(DHPIN,DHTYPE); //Se inicia una variable que sera usada por arduino para comunicarse con el sensor

float t;
float h;

void init_sensor_temp() {
  dht.begin(); //
}

void sm_sensor_temp() {
  t = dht.readTemperature();
  h = dht.readHumidity();

  Serial.println("Humedad: ");
  Serial.println(h);
  Serial.println("Temperatura: ");
  Serial.println(t);
}

//cuando se llama a esta funcion devuelve la temperatura
float getTemperature(){


  return t;
}

//cuando se llama a esta funcion devuelve la humedad
float getHumidity(){

  return h;
}
```

Figura 27: Codi sensor temperatura

- **Sensor de pluja:** Determinarà les condicions de precipitat. Es fa servir per a l'estudi el FR-04, on analitza un canvi en la conductivitat del sensor per saber si hi ha pluja. La sortida s'activarà donant valor LOW quan superi el valor que s'hagi determinat mitjançant un potenciòmetre

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 43 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

```

//Señal HIGH en ausencia de lluvia y LOW con presencia de lluvia

int deteccion_lluvia;

void init_sensor_lluvia() {

    pinMode(RAIN_SENSOR, INPUT); //se declara entrada sensor
}

void sm_sensor_lluvia(){

    deteccion_lluvia = digitalRead(RAIN_SENSOR);
    Serial.println(deteccion_lluvia);


    if (deteccion_lluvia == LOW){ //cuando el sensor es 0
//digitalWrite(ledPin,HIGH);
//Serial.println("Detectada lluvia");
        lluvia = true;
    }
    else
    {
//digitalWrite(ledPin,HIGH);
        lluvia = false;
    }

}
.

```

Figura 28: Codi sensor pluja

S'afegeix a més la funció per a que les lectures quedin enregistrades en una targeta SD, ja que es la opció mes econòmica energèticament comparada amb sistemes mitjançant Internet. Així la informació quedarà emmagatzemada per a poder fer estudis i optimitzacions posteriors.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 44 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

```

void init_SD() {

Serial.print(F("Iniciando SD ..."));
  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println(F("Error al iniciar"));
    return;
  }
  Serial.println(F("Iniciado correctamente"));
}


```

Figura 29: Codi SD

Funció amb la qual es comprova si la targeta s'inicialitza correctament.

Al ser l'objectiu primordial l'estalvi energètic del sistema, es configurarà la centralita de manera que només s'encengui el panell en els casos realment necessaris, en lloc d'estar tota l'estona encès, o encendre's al pas de vehicles etc.

Així doncs, el cas més positiu amb l'estalvi serà encendre's sempre i quan passi un vehicle com a condició principal i indispensable. A continuació el sistema analitzarà la quantitat de llum disponible, si la humitat es elevada i la temperatura es baixa, i finalment si hi ha pluja.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 45 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

```
int seconds = 0;

void brain() {

    delay(1000);
    seconds++;

    //Deteccion para encender led
    if (luz == true and (getTemperature()<30 or getHumidity()>90)){

        led_aviso = true;
        encendido = "SI";
        Noche = "Falta Luz";

    }


    else{
        encendido = "NO";
    }

    //Deteccion para saber si es de noche
    if (luz == true){
        Noche = "Falta Luz";
    }

    else{
        Noche = "Luz Ok";
    }

    myFile = SD.open ("data.txt", FILE_WRITE);
```

Figura 30: Cervell del codi

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 46 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

```

Serial.print (encendido);
Serial.print (";");
Serial.print (Noche);
Serial.print (";");
Serial.print (getTemperature());
Serial.print (";");
Serial.print ((getHumidity()));

//myFile.println (ncoches);
//myFile.println (";");
myFile.println (encendido);
myFile.println (";");
myFile.println (Noche);
myFile.println (";");
myFile.println (getTemperature());
myFile.println (";");
myFile.println (getHumidity());

myFile.close ();

//LED ENCENDIDO Y SI HAN PASADO 7 SEGUNDOS LA PONEMOS A DORMIR
if (encendido == "SI"){

    digitalWrite(ledPin,HIGH);
    Serial.print("Led Encendido");


    // Si han pasado 7 segundos apagamos el LED y la ponemos a dormir
    if (seconds == 7){
        digitalWrite(ledPin,LOW);
        enterSleep();
        seconds = 0;
    }
}

```

Figura 31: Cervell del codi (cont.)

Al complir-se aquestes condicions, el sistema encendrà els leds del panell durant 7 segons, aprofitant l'energia el mínim necessari. Després d'aquests 7 segons, temps de sobra per a que hagi circulat el vehicle, el panell es tornarà a apagar. S'aprofita també l'energia que consumeix la placa, enviant-la en un estat de "sleep" fins que torni a passar un vehicle, moment en el qual rep una senyal que la fa despertar, i comprova les lectures dels sensors per determinar si es necessari encendre el panell.

Amb aquesta estructura s'aconsegueix reduir al màxim el consum de la placa i els sensors.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 47 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

```
#include <SD.h>
boolean lluvia = false;
boolean luz = false;
boolean piezo = false;
boolean temp = false;
boolean led_aviso = false;

int sensorState;

String encendido;
String Noche;

File myFile;

#define RAIN_SENSOR 4 //Conectamos sensor a digital 4
#define ledPin 12 //led salida en el digital 12
#define PIEZO 2

void setup() {

  //Inicializamos los pines de los sensores, en el setup para optimizar el proceso y que solo se inicie una sola vez
  Serial.begin(9600);
  init_SD();
  init_sensor_lluvia(); //inicializa sensor lluvia
  init_sensor_luminico();
  init_sensor_piezo();
  init_sensor_temp();

}

void setup() {

  //Inicializamos los pines de los sensores, en el setup para optimizar el proceso y que solo se inicie una sola vez
  Serial.begin(9600);
  init_SD();
  init_sensor_lluvia(); //inicializa sensor lluvia
  init_sensor_luminico();
  init_sensor_piezo();
  init_sensor_temp();

}


void loop() {

  sm_sensor_lluvia();
  sm_sensor_luminico();
  sm_sensor_piezo();
  sm_sensor_temp();
  brain();

}
```

Figura 32: Codi principal

S'observa que s'ha optat per treballar els diferents sensors i corresponents funcions com a màquines d'estat, quedant tot el programa més net i entenedor. Les màquines d'estat son sistemes seqüencials tancats, és a dir, sistemes on es realitzen accions una darrere l'altra, estructura lògica si el que es vol es rebre lectures de diversos sensors en tot moment.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 48 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Com a punt final d'optimització, al analitzar les diferents variables a tenir en compte per a encendre el panell lumínic, s'arriba a la conclusió que el sensor de pluja no seria realment necessari, ja que mitjançant el de llum compliria la seva funció doncs precipitació vol dir cel nuvolat que equival a baixa il·luminació. Com a valor afegit destacar que sense aquest sensor, el consum de la centraleta es veu reduït dràsticament, doncs era el segon element més consumidor.

S'inclou a més una altra opció de codi més simplificada i testejada, que inclou un relé per a transmetre el corrent cap als leds en els annexos.

8.2.1 Consums

Els consums dels sensors s'inclouen en la següent taula:

Sensor	Consum (mW)
Temperatura i Humitat	0,63
Llum	0,028
Piezoelectric	44,34
TOTAL	44,99mW

Taula 8: Consums sistema centraleta

8.2.2 Conexions

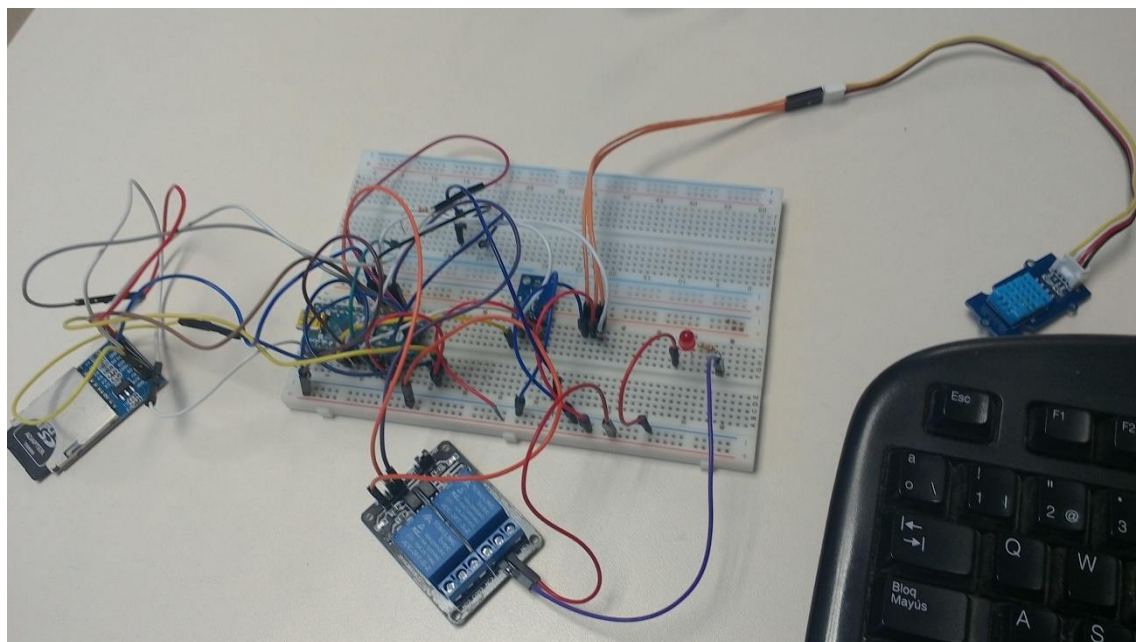



Figura 33: Conexions Arduino

Les connexions del sistema final estudiat en aquest apartat queden com:

- Nano Arduino:
 - Entrada: Connexió de tensió a Vin i GND
 - Sortida: Senyal d'encesa a D7
 - Sortida: Alimentació de 5V als sensors
- Sensor Piezoelèctric:
 - Entrada: Connexió de tensió del Arduino a 5V i GND
 - Sortida: Senyal a pin analògic **A0**
- Sensor Ilum:
 - Entrada: Connexió de tensió del Arduino a 5V i GND
 - Sortida: Senyal a pins analògics **A4 i A5**
- Sensor temperatura:
 - Entrada: Connexió de tensió del Arduino a 5V i GND
 - Sortida: Senyal a pin digital **D3**

 <div><div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div><div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div></div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 50 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

8.3 Estabilitzador de senyal

En l'anàlisi d'aquest apartat, fent servir els circuits treballats en els estudis previs, s'obtenien valors d'intensitat i potencia molt baixos. La senyal alterna que s'obté dels piezoelèctrics així com l'amplitud dependrà dels esforços mecànics aplicats així com de les propietats del transductor. Per millorar l'eficiència de la carrega s'haurà d'estudiar la inclusió d'elements electrònics. En un segon estudi realitzat recentment, es va aportar un nou circuit que en aquest projecte es dona com a bo. [8]


El esquema que haurà de seguir la instal·lació serà en les mateixes línies que els estudiats, primer partint d'un convertidor AC/DC com es el cas per exemple d'un pont de díodes.. A continuació s'haurà d'incloure un conjunt de condensadors per a emmagatzemar aquesta energia i alimentar el sistema amb un voltatge continu.[8]

Començant primer just en els piezoelèctrics, s'haurà de col·locar una resistència entre els seus borns per obtindre una potencia màxima. Es sap que la carrega elèctrica seguirà la llei:

$$I(A) = \frac{V_{piezo}(V)}{R_s(\Omega)}$$

$$P(W) = V_{pz}(V) \cdot I(A)$$

f(Hz)	Rs(kΩ)	Vpz_max(V)	I_max(mA)	P_max(mW)
9,4	10	1,42	0,142	0,202
10,7	33	5,09	0,154	0,736
9,4	56	6,4	0,114	0,658
10,5	68	8,24	0,121	0,922
9,5	82	8,52	0,104	0,824
9,5	100	10,2	0,102	1,02
9	220	15,65	0,071	1,113
9	280	16,8	0,06	1,017
8,6	320	13,3	0,04	0,556
10	370	14,5	0,039	0,567
10	430	14,6	0,034	0,497
9	490	14,8	0,03	0,447

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 51 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

9	570	15,19	0,027	0,405
12	660	15,4	0,023	0,361

Taula 9: Estudi elèctric de resistències [8]

S'extreu que s'obté una potència màxima per a una resistència en sèrie de 220 kΩ

Ara s'haurà d'adaptar aquest senyal per a poder ser aprofitat en la placa d'arduino que s'encarregarà de distribuir-la i dirigir-la quan sigui necessari cap al panell de senyalització.

La configuració experimental dels piezoelèctrics, com s'ha observat en imatges anteriors del prototip, consisteix en 18 transductors, 9 a cada cara de les lamine, connectats en paral·lel. L'esforç mecànic s'aplica perpendicularment a la superfície.

La potència que s'obtingui, vindrà influenciada per les resistències instal·lades, així com pel factor de qualitat.

Com s'estudia i es valida en l'estudi anterior es faran servir les tècniques SSHI (*Synchronized Switch Harvesting on Inductor*). Aquesta eina permet treure la màxima potència possible del recol·lector i disposa de dos variants a analitzar, en sèrie i en paral·lel. Es procedirà aquí a arreglar els càlculs fets en l'estudi fet sobre aquesta part amb la freqüència obtinguda en aquest treball. [8]


- SSHI-Paralel:

Es té la equació de la tensió continua com:

$$V_{DC} = \frac{2 \cdot R_L \cdot \alpha \cdot \omega}{R_L \cdot C_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{\pi}{2Q_i}}\right) \cdot \omega + \pi} \cdot U_M$$

Les incògnites d'aquesta equació venen donades a continuació:

El factor de força:

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 52 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

$$\alpha = \frac{\bar{e}_{31} \cdot A}{L}$$

$$\bar{e}_{31} = -10'4 \left(\frac{C}{m^2} \right)$$

$$A = 30 \cdot 10^{-3}(m) \cdot 200 \cdot 10^{-6}(m) = 6 \cdot 10^{-6}(m^2)$$

$$L = 50 \cdot 10^{-3}(m)$$

$$\alpha = \frac{10,4 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-3}} = 1,248 \cdot 10^{-3} \left(\frac{C}{m} \right)$$

Excitació mecànica (trobadà anteriorment):

$$freqüència vibració f = 114,73(Hz)$$

$$Amplitud mecànica U_M = 2,6 \cdot 10^{-3}(m)$$

El factor de qualitat ve donat en funció dels components instal·lats:

$$Q_i = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Partim de una $L=5'76 \cdot 10^{-6} H$ i $C=90 \cdot 10^{-9} F$ per a calcular un factor de potencia igual a 8 com a hipòtesi. Disposem a més d'una resistència de 5kohms.


$$Q_i = 8 \rightarrow V_{DC} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 1,248 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 56}{5 \cdot 10^3 \cdot 90 \cdot 10^{-9} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\pi}{16}}\right) \cdot 2\pi \cdot 56 + \pi} \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} = 7,31V$$

Podem saber ara la potencia proporcionada per un trasductor:

$$P = \frac{V_{DC}^2}{R_L} = 0,011 W$$

Per a tot el sistema (40 en paral·lel):

$$P_{total} = P \cdot n^{\circ} \text{ piezos} = 0,42W$$

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 53 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

-SSHI-Series:

En aquest cas la tensió continua es calcula de la següent manera:

$$V_{DC} = \frac{2\alpha U_M R_L \omega \left(1 + e^{-\frac{\pi}{2Q_i}}\right)}{\pi \left(1 - e^{-\frac{\pi}{2Q_i}}\right) + 2R_L C_0 \omega \left(1 + e^{-\frac{\pi}{2Q_i}}\right)}$$

Els valors d'aquesta equació seran els mateixos que en l'apartat anterior

$$Q_i = 8 \rightarrow V_{DC} = \frac{2 \cdot 1,248 \cdot 10^{-3} \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 2\pi \cdot 114,73 \cdot \left(1 + e^{-\frac{\pi}{16}}\right)}{\pi \left(1 - e^{-\frac{\pi}{16}}\right) + 2 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 90 \cdot 10^{-9} \cdot 2\pi \cdot 114,73 \cdot \left(1 + e^{-\frac{\pi}{16}}\right)} = 24,46 \text{ V}$$

$$P = \frac{V_{DC}^2}{R_L} = 0,1196 \text{ W}$$

$$P_{total} = 4,78 \text{ W}$$

Les potències obtingudes equivalen a la potència extreta dels piezoelèctrics. S'ha de considerar també la potència consumida pel circuit de control, i les conseqüents pèrdues.


Depenent de la resistència que es fiqui en el circuit, variarà la tensió i potència proporcionades. Si disposem d'una resistència molt elevada, en el circuit en sèrie el voltatge serà molt gran així com la potència. En el cas de paral·lel, el voltatge també augmentarà però la potència disminuirà. S'ha de tenir en compte que el voltatge necessari per alimentar el panell LED i la centraleta de control es de 12V i 5V respectivament. Per aquest raó es decideix fer la instal·lació SSHI-sèrie.

Els valors totals de les capacitats i inductàncies finals suposant un factor igual a 8 seran:

$$\text{Associació de condensadors en paral·lel} \rightarrow C_{tot} = C_1 + C_2 + \dots + C_{n-1} + C_n$$

$$C_{tot} = C_0 \cdot 40 = 90 \cdot 10^{-9} \cdot 40 = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$L = Q_i^2 \cdot C_{tot} \quad Q_i = 8 \rightarrow L = 2'304 \cdot 10^{-4} \text{ H}$$

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 54 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Pel que fa al convertidor DC/DC Buck, que s'encarregarà de reduir la tensió de sortida del senyal acondicionat a la tensió que requereixen les bateries de 5 i 12V, tindrà les següents característiques:[8]

- La tensió d'entrada del convertidor $V_{in} = 18 V$
- La tensió de sortida del convertidor $V_{out} = 5 V$
- Freqüència del commutador $f_s = 500 kHz$
- Cicle de treball (duty) $D = 5/18$
- Inductància $L = 231 \mu H$
- Capacitància $C = 156 nF$


Dins del procés energètic del sistema, es disposa com a punt de sortida un panell LED direccional format per dues fletxes de la casa Proinova amb les següents especificacions:

- 24 LEDs per fletxa (48 en total)
- 1s d'interval d'encesa
- 12V d'alimentació
- 7,7W de consum mitjà



Figura 34 Exemple de panell senyalitzant

Com s'ha vist en l'apartat anterior, la centralita funciona amb una tensió d'alimentació de 5V i consumeix 243 mW amb tots els sensors en funcionament [9], no obstant en aquest treball l'arduino no esta encès les 24h i s'ha eliminat el sensor de pluja, el qual consumia 19,24mW, quedant un consum final bastant per davall del suposat

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 55 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

previament. La senyalització es mantindrà encesa 5 segons quan passi un vehicle i es compleixin les condicions establertes. D'aquesta manera els consums quedaran com:

$$E(J) = P(W) \cdot t(s)$$

En el cas d'estar encesa tot el dia, es tindria el consum següent:

$$E_{panell} = 7,7(W) \cdot 5(s) = 38,5 J \text{ per cada vehicle}$$

$$E_{centraleta} = 230 \cdot 10^{-3}(W) \cdot \frac{24(h)}{1(dia)} \cdot \frac{3600(s)}{1(h)} = 19937,664 J$$

$$E_{consumida} = E_{centraleta} + E_{panell}$$

Sabent el consum de la centraleta, hauria d'estudiar-se una zona de col·locació on circulessin els suficients cotxes com per a alimentar aquest sistema. No obstant es pot donar una aproximació de quin hauria de ser el mínim de vehicles que haurien de passar, i així posteriorment estudiar possibles vies.


$$E_{recol·lectada} = P_{útil}(W) \cdot t(s) \cdot n_{vehicles}^o$$

$$E_{recol·lectada_{Q_i=8}} = (4,78 \cdot 2)(W) \cdot 10(s) \cdot 50$$

Q_i	$P_{útil}(W)$ (2 generadors)	$E_{recol·lectada}(J)$
8	9,56	4780

Es veu com aquest sistema no seria viable si la centraleta estigues encesa 24h al dia, però si que ho seria amb la configuració actual d'encesa al pas de cada vehicle.

La energia recol·lectada vindrà doncs influenciada per la quantitat de vehicles que circulin per la plataforma. Amb un pas diari d'uns 350 cotxes, s'obtidrien 33508,97 J, suficients per el funcionament del sistema (se'n consumirien 33412J)

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 56 de 66

Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

La manera segura de aplicar d'una manera viable el sistema, seria eliminar l'emmagatzematge de la SD, reduint el consum notablement fins als 25mW, en el cas que s'implementés en carretes de circulació reduïda.

Igual que en l'optimització mecànica, s'adjunta fulla de càlcul per a estudis d'altres instal·lacions elèctriques.

DADES	A INTRODUIR
R(ohms)	5000
ϵ_{31} (C/m ²)	10,4
L(m)	0,05
A(m ²)	0,000006
Um (Amplitud mecànica)	0,0026
f (freqüència vibració)	114,73
C(F)	0,00000009
L(H)	0,00000576
n (nombre transductors)	40
nombre de vehicles	350

SSH1 PARALLEL

$$\alpha = \frac{\epsilon_{31} \cdot A}{L} \quad 0,001248 \text{ C/m}$$

$$V_{DC} = \frac{2 \cdot R_L \cdot \alpha \cdot 2\pi \cdot f}{R_L \cdot C_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{\pi}{2Q_i}}\right) \cdot 2\pi \cdot f + \pi} \cdot U_M \quad 7,31093728 \text{ V}$$

POTENCIA 1 TRASDUCTOR


$$P = \frac{V_{DC}^2}{R_L} \quad 0,010689961 \text{ W} \quad Q_i = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad 8$$

POTENCIA TOTAL

$$P \cdot n \quad 0,427598431 \text{ W}$$

Energia Recolectada 33508,97499 J

Figura 35: Fulla càlcul sistema elèctric


 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 57 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

9.Pressupost

Un estudi del pressupost s'ha dut a terme en un altre document. No obstant en aquest apartat es donarà un resum dels resultats obtinguts com a informació essencial. El pressupost s'ha considerat en base al prototip estudiat i els valors econòmics aportats són una suposició aproximada.

Part mecànica	6215,54€
Part estabilització senyal	221,82€
Part centraleta	66,69€
Preu enginyeria	3000€
TOTAL	9504,05€

Taula 10: Costos Totals

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 58 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

10. Impacte ambiental

Suposant que es volgués procedir a una instal·lació industrial, s'hauria de tenir en compte l'estudi d'impacte ambiental del mateix. En aquesta secció es valoritzarà quin impacte tindria la selecció de components i com s'hauria de dur a terme el desmantellament.

10.1 Avaluació Cicle de vida

L'avaluació del cicle de vida es un procediment objectiu utilitzat per avaluar els impactes ambientals associats amb la totalitat del cicle de vida d'un producte, quantificant tots els fluxos produïts entre el sistema del producte i la ecosfera.

S'ha de considerar que l'energia produïda per aquest sistema no és neta, ja que aprofita el pas dels vehicles que produeixen gasos com CO₂ a l'atmosfera, no obstant si que la redueix comparant amb els sistemes de producció d'electricitat convencionals.

En la següent taula es pot observar els residus generats per un vehicle


	Grams de CO ₂ /km	Grams de NOX/km	Grams de PM10/km	Grams de SO ₂ /km
Gasolina	202	0,38	0,008	0,006
Urba	259	0,48	0,012	0,008
Extra urba	162	0,27	0,005	0,005
Autopista	186	0,38	0,008	0,006
Diesel	182	0,59	0,049	0,003
Urba	231	0,85	0,097	0,004
Extra urba	155	0,46	0,043	0,002
Autopista	159	0,45	0,008	0,003

Taula 11: Producció contaminant d'un vehicle

NOX i SO₂ contribueixen a l'acidificació del medi i el PM10 es causant de series malalties respiratòries.

10.2 Control de residus i desmantellament

S'hauria de garantir un correcte tractament i transport dels residus generats en la producció i desmantellament del sistema. Acceptant que les activitats de producció seran implementades per empreses externes que s'encarregaran dels seus residus, aquest anàlisi es centrarà en l'actuació envers els components al final del seu cicle de vida.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 59 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

Per a procedir al desmantellament del sistema, consistirà en dur-los als centres de reciclatge més propers. No obstant s'ha de tenir en consideració que existeix un límit de carrega residual que es pot fer arribar per dia. El propi centre s'encarregarà de classificar tots els tipus de materials i components. Un cop fet, seran enviats a un transportista autoritzat, que el portarà al pertinent agent de residus on farà la revalorització energètica o material pertinent, o els corresponents tractaments.


Gràcies al Catàleg de Residus de Catalunya, es poden resumir els principals materials amb el seu codi identificador, i els possibles tractaments i valoritzacions disponibles.[7]

Codi	Material/Components	Valorització
160213	Transformadors i condensadors que contenen PCB	R12: Intercanvi de residus. Inclou operacions prèvies a la valorització
200133	Bateries i acumuladors	R04: Reciclatge o recuperació de metalls i de compostos metàl·lics
200139	Plàstics	R01: Utilització com a combustible R03: Reciclatge o reutilització
200140	Metalls	R04: Reciclatge o recuperació de metalls i de compostos metàl·lics

Taula 12: Classificació dels residus produïts


Es decideix seguir el criteri següent per a l'òptim tractament i elecció d'agent autoritzat:

- Proximitat màxima entre el centre de reciclatge i l'agent autoritzat, en aquest cas, es considera la població on està situat el prototip, Terrassa
- Es prioritza la reutilització abans que el reciclatge, i en el cas de reciclatge, primer material i sinó energètic.
- Deposició de residus i incineració seran les darreres opcions possibles.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 60 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		


Codi	Acció Final	Agent Autoritzat
160213	R12: Intercanvi de residus. Inclou operacions prèvies a la valorització	<u>ABRULIPA SL</u> (Cerdanyola del Valles)
200133	R04: Reciclatge o recuperació de metalls i de compostos metàl·lics	<u>ACS RECYCLING ELECTRÒNICS DE CATALUNYA, S.L.</u> (Sabadell)
200139	R03: Reciclatge o reutilització	<u>A3 APROFITAMENT ASSESSORAMENT AMBIENTAL, SL</u> (Granollers)
200140	R04: Reciclatge o recuperació de metalls i de compostos metàl·lics	<u>A3 APROFITAMENT ASSESSORAMENT AMBIENTAL, SL</u> (Granollers)

Taula 13: Accions desenvolupades per a cada residu

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 61 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

11.Linies futures del treball

El projecte ha aconseguit els objectius marcats al inici d'aquest. A partir d'ara, i per la implementació de captadors més professionals, es disposa de les fulles de càlcul establertes de manera que l'usuari pugui determinar el que l'interessa. Un captador d'aquest tipus ha de ser instal·lat en carreteres amb suficient flux de tràfic o sinó no resulta rentable tal i com s'ha demostrat. Carreteres properes a grans poblacions o centres que inclouen un gran nombre de persones (com pot ser per exemple la universitat autònoma de Barcelona) podrien ser opcions viables d'instal·lació d'aquest tipus.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 62 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		


12. Conclusions

Dels resultats obtinguts en aquest projecte, es poden dividir diferents conclusions detallades per a cada sector estudiat:

- Pel que fa al sistema mecànic, s'han complert els objectius proposats amb l'optimització i correcció dels anàlisis fets anteriorment. S'ha analitzat en base a quin tipus de geometria s'obtindria una major freqüència de sortida. A més a més s'ha elaborat una fulla de càlcul que serveixi de ruta per a futures instal·lacions o estudis del prototip, ja que permet rebre tots els càlculs teòrics amb la simplicitat de només variar els paràmetres geomètrics.
- En l'apartat de la centraleta, s'ha optimitzat el codi i l'ús dels sensors i s'ha decidit eliminar el de pluja, ja que resulta ineficient quan ja es disposa d'un control de temperatura, humitat i llum. S'ha configurat de manera que només s'encengui al pas d'un vehicle, i sigui aleshores quan faci les lectures dels sensors.
- En la part de senyalització elèctrica, s'ha definit els valors de condensador i bobina necessaris, així com la validació del circuit realitzat prèviament [8] aplicant els valors obtinguts en aquest treball. S'ha fet un balanç energètic comprovant en quins casos seria rentable el sistema de captació amb piezoelèctrics. També s'ha realitzat un full de càlcul per a estudiar resistències alternatives així com altres valors d'impedàncies, obtenint l'energia consumida i generada corresponent.


El sistema és doncs suficientment autònom sempre i quan el nombre de vehicles que passin sigui suficientment elevat (proper als 350).

Com a conclusió personal, aquest treball ha servit per aplicar una gran part dels conceptes adquirits al llarg del grau. La possibilitat de treballar i combinar diferents àmbits ha resultat ser una experiència enriquidora, i una millora de la comprensió dels sistemes mecànics i elèctrics. També ha donat l'oportunitat d'estudiar nous tipus de tecnologies en desenvolupament, aplicant els coneixements apresos en la carrera.

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 63 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

13. Bibliografia

- [1] https://icono.fecyt.es/sites/default/files/filepublicaciones/bvt_mat_n3.pdf (voletín vt)
- [2] Zhao, H., Tao, Y., Niu, Y., & Ling, J. (2014). Harvesting energy from asphalt pavement by piezoelectric generator. *Journal of Wuhan University of Technology. Materials Science Edition*, 29(5), 933-937.
- [3] R. Andreo Sánchez, "Disseny d'un sistema d'excitació inercial per a la captació d'energia elèctrica a partir del pas de vehicles rodats," Terrassa, 2017.
- [4] F. Guillen Moya, "Estudio del circuito de acondicionamiento y almacenamiento de la señal eléctrica generada por un elemento a flexión en función de la excitación mecánica," Terrassa, 2017.
- [5] J. Ortega Olivares, "Estudi i caracterització de la resposta elèctrica d'elements piezoelèctrics davant diferents excitacions," Terrassa, 2017.
- [6] https://sdr.arc.cat/sdr/ListGrupsResidus.do#_ga=2.33450046.1086449693.1528456900-1431623551.1521809202
- [7] http://residus.gencat.cat/ca/consultes_i_tramits/_nou/consultes/consulta_al_cataleg_de_residus_de_catalunya/
- [8] Pol Gassol, "Estudi, optimització i ús aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements piezoelèctrics", Terrassa 2018
- [9] Francisco José de la Fuente, "Estudio para la implantación de un sistema de gestión de energia para la iluminacion de señalización vial a partir de la energia generada mediante elementos piezoelectricos" , Terrassa 2017
- [10] E.Lefevre, A.Badel, C.Richard, L.Petit, D.Guyomar, "A comparison between several vibration-powered piezoelectric generators for standalone systems," *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 126, no. 2, pp. 405–416, Feb. 2006.
- [11] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/arduino-sleep-mode/>
- [12] Adolfo F. Gonzalez "Materiales piezoelectricos y efecto piezoelectrico", 2009
- [13] <https://es.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricidad>

 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció</div>	Memòria	Data: 10-JUN-2018
		Pagina: 64 de 66
Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements		

14. Annex

Codi Alternatiu



Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

```
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/power.h>
#include "DHT.h" //cargamos la librería DHT
#include <BH1750FVI.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#define RELAY1 7

int pin2 = 2;

void pin2Interrupt(void)
{
    detachInterrupt(0);
}

void enterSleep(void)
{
    attachInterrupt(0, pin2Interrupt, LOW);
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
    delay(100);
    sleep_enable();
    sleep_mode();
    sleep_disable();
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(RELAY1, OUTPUT);
    pinMode(pin2, INPUT);
    Serial.println("Initialisation complete.");

    Serial.print(F("Iniciando SD ..."));
    if (!SD.begin(4)) {
        Serial.print(F("Iniciando SD ..."));
        if (!SD.begin(4)) {
            Serial.println(F("Error al iniciar"));
            return;
        }
        Serial.println(F("Iniciado correctamente"));
    }
    int ncoches;
    int humedad;
    int temperatura;

    int seconds=0;

    bool accion = false;
    bool noche = false;
    String encendido;
    String Noche;

    void loop()
    {
        delay(1000);
        seconds++;

        if (seconds ==1){
            File myFile;
            #define temphume 3 //Seleccionamos el pin en el que se //conectará el sensor
            #define DHTTYPE DHT11 //Se selecciona el DHT11 (hay //otros DHT)
            DHT dht(temphume, DHTTYPE); //Se inicia una variable que será usada por Arduino para comunicarse con el sensor
            BH1750FVI LightSensor;
```



Estudi, optimització i us aplicat de l'energia elèctrica generada per un sistema mecànic d'excitació d'elements

```
LightSensor.begin();
LightSensor.SetAddress(Device_Address_H);
LightSensor.SetMode(OneTime_L_resolution_Mode);

dht.begin(); //Se inicia el sensor temperatura
humedad = dht.readHumidity(); //Se lee la humedad
temperatura = dht.readTemperature(); //Se lee la temperatura
uint16_t lux = LightSensor.GetLightIntensity();

if (lux < 30) {
    noche = true;
}
if (noche == true and (temperatura<30 or humedad>90)) {
    accion = true;
}

if (accion == true) {
    encendido = "Si";
}
else {
    encendido = "NO";
}

if (noche == true) {
    Noche = "Falta Luz";
}
else {
    Noche = "Luz OK";
}

ncoches = ncoches + 1;
accion = false;
noche = false;

myFile = SD.open ("data.txt", FILE_WRITE);

Serial.print (ncoches);
Serial.print ("");
Serial.print (encendido);
Serial.print ("");
Serial.print (Noche);
Serial.print ("");
Serial.print (temperatura);
Serial.print ("");
Serial.print (humedad);

myFile.println (ncoches);
myFile.println ("");
myFile.println (encendido);
myFile.println ("");
myFile.println (Noche);
myFile.println ("");
myFile.println (temperatura);
myFile.println ("");
myFile.println (humedad);

myFile.close ();
if (encendido == "Si") {
    digitalWrite(RELAY1,0);          // Turns ON Relays 1
    Serial.println("Light ON");}
}

if(seconds == 7)
{
    if (encendido == "Si") {
        digitalWrite(RELAY1,1);          // Turns Relay Off
        Serial.println("Light OFF");}
    Serial.println("Entering sleep");
    seconds = 0;
    enterSleep();
}
```